Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos

Lubricación de un motor de combustión interna y el análisis de aceite en uso para su mantenimiento

MONOGRAFÍA TÉCNICA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos

AUTOR

Hugo Wilder ALARCON GARAMENDI

ASESOR

Andrés César VALDERRAMA ROMERO

Lima, Perú

2008

Referencia bibliográfica

Alarcon, H. (2008). *Lubricación de un motor de combustión interna y el análisis de aceite en uso para su mantenimiento*. Monografía Técnica para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica de Fluidos, el Título Profesional de Ingeniero Mecánico de Fluidos, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación, a mis padres, quien con su apoyo constantemente me hacen desarrollarme en el ámbito personal, así como también lo dedico a mi asesor quien con su guía constante ha logrado hacer posible el presente trabajo…

ÍNDICE

Pag.

INTRODUCCIÓN

En todo motor de combustión interna uno de los aspectos más importantes es el mantenimiento y en especial la lubricación del mismo, ya que una adecuada lubricación aumenta la vida útil de éstos, y previene que sufran desgastes prematuros o daños por utilizar aceite contaminado o que ha perdido sus propiedades; reduciendo la necesidad de los repuestos y minimizando el costo anual del mantenimiento.

El presente trabajo aborda la importancia del análisis de lubricantes, como herramienta, a la hora de llevar adelante una estrategia de mantenimiento Proactivo, para el caso de flotas de maquinaria pesada. La filosofía del mantenimiento Proactivo conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en la maquinaria. El análisis de aceite permite conocer tanto la salud del lubricante, como el estado de contaminación y desgaste del sistema, así como también, reconocer las causas que provocan las fallas, para poder eliminarlas, aumentando de ésta forma, la confiabilidad.

Un aceite que no cumpla los requisitos de calidad pueden producir los siguientes efectos:

- Desgaste prematuro de partes
- Daño a componentes del motor o accesorios (turbo cargador, cigüeñal, bielas, etc.)
- Mayor emisión de contaminantes
- Daño al convertidor catalítico
- Formación de carbón en la cámara de combustión
- Fugas en los anillos de los cilindros
- Evaporación del lubricante

Es por todo esto importante conocer en qué consiste el fenómeno de la lubricación, las características que debe tener un buen lubricante.

El Capítulo I, encierra el planteamiento de problema de las exigencias y la necesidad de usar un aceite de última generación para proteger los componentes del motor, los objetivos generales y específicos y la delimitación de la monografía.

El capítulo II, contiene el marco teórico donde se muestran los aspectos generales y teóricos referente a la lubricación, lubricantes, motores de combustión interna, turbo compresores y el análisis de aceite en uso como método de mantenimiento proactivo, la literatura relevante y la definición de la terminología básica.

El Capítulo III, encierra el mantenimiento proactivo en base a al análisis de aceite en uso, de la misma manera que los fluidos corporales son valiosos indicadores de las condiciones de los organismos vivos, las maquinarias tienen en los lubricantes precisa información

acerca del estado de la amplia gama de piezas lubricadas, además una descripción de los factores que inciden en el desgaste del motor, descripción de las pruebas de laboratorio para un aceite en uso,

En el Capitulo IV realizamos el estudio de dos casos reales de dos motores diesel CUMMINS ISM 350V pertenecientes a la flota de una empresa de transporte a nivel nacional donde se puede observar en los resultados de pruebas de laboratorio y comparar con los gráficos obtenidos de los diversos parámetros como son la viscosidad a 100ºC , viscosidad a 40ºC , dilución por combustible, desgastes metálicos, etc.

Para finalizar desarrollaremos las conclusiones del estudio completo.

CAPITULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El costo de operar un equipo hasta que este falla (Mantenimiento Reactivo), es muy alto en términos de tiempo improductivo, partes de repuesto, mano de obra y costo de la reparación. Las técnicas de Mantenimiento Preventivo se basan en el cambio o reemplazo de partes en función de un intervalo de tiempo y en la mayoría de las veces las piezas son retiradas cuando aún tienen capacidad de seguir funcionando - Según Forbes Magazine; "Un 33% de las actividades de mantenimiento preventivo son desperdiciadas".

Las técnicas de Mantenimiento Predictivo, nos indican el momento en el que la pieza o componente está próximo a la falla, pero no nos dice como evitarla. - Afortunadamente, existe una nueva alternativa conocida como "Mantenimiento Proactivo".

El funcionamiento defectuoso de un equipo dependerá, tanto de la calidad del aceite utilizado como de la degradación que éste pueda sufrir a través del tiempo. El mantenimiento predictivo-proactivo a partir del aceite lubricante, se fundamenta en lograr ampliar los intervalos de drenaje del aceite usado, y trabajar durante un periodo de tiempo más prolongado.

El Mantenimiento Proactivo, es una filosofía de mantenimiento, dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. Una vez que las causas que generan el desgaste han sido localizadas, no debemos permitir que éstas continúen presentes en la maquinaria, ya que de hacerlo, su vida y desempeño, se verán reducidos. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla sean mantenidos dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones según el programa de Mantenimiento Proactivo. Límites aceptables, significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operacional que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio.

En sistemas mecánicos operados bajo la protección de lubricantes líquidos, controlar cinco causas de falla plenamente reconocidas, puede llevar a la prolongación de la vida de los componentes en muchas ocasiones hasta de 10 veces con respecto a las condiciones de operación actuales. Estas cinco causas críticas a controlar son:

- Partículas
- Agua

- Temperatura
- Aire
- Combustible o compuestos químicos

Cualquier desviación de los parámetros de las causas de falla anteriores, dará como resultado deterioro del material del componente, seguido de una baja en el desempeño del equipo y finalizando con la pérdida total de los componentes o la funcionalidad del equipo.

Para poder detectar y corregir las causas de falla, debemos establecer métodos de control y seguimiento que nos permitan identificar su nivel y comportamiento.

1.2 OBJETIVOS DE LA MONOGRAFIA

1.2.1 OBJETIVO GENERAL.

Demostrar que el empleo de una herramienta de diagnostico técnico del aceite lubricante permite controlar los niveles de desgaste de los componentes internos del motor de combustión interna en los vehículos de carga.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Conocer las especificaciones que debe de cumplir un aceite lubricante para satisfacer la lubricación de un motor de combustión interna.
- Funciones del aceite lubricante dentro de un motor de combustión interna
- Conocer las exigencias del aceite lubricante dentro de un motor de combustión interna
- Conocer las funciones de un aceite lubricante dentro de un turbocompresor
- Conocer en detalle los ensayos de los aceites lubricantes usados de un motor de combustión interna
- Predecir el planteamiento y control de las paradas de los motores de combustión interna para el relleno y reemplazo de los aceites lubricantes.

1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACION.

El presente trabajo estará enmarcada en la importancia de los aceites lubricantes en un motor de combustión interna y el análisis de aceite en uso para poder realizar un mantenimiento proactivo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 LUBRICACIÓN

2.2.1 Definición

La lubricación se define como la interposición entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo la una con respecto a la otra de una sustancia cualquiera conocida con el nombre de lubricante. Un buen lubricante debe disminuir al máximo el desgaste de las superficies lubricadas, el calor generado por fricción, el consumo de energía, el ruido, y el impacto negativo sobre el ambiente cuando finalmente se deseche, como resultado de su proceso de oxidación normal. Sin el empleo del lubricante adecuado, las superficies metálicas de los mecanismos lubricados se soldarían, dejando inservible la máquina y convirtiéndola en chatarra en unos cuantos minutos.

Cuando las superficies son lubricadas la única fricción que se debe presentar es entre las capas del lubricante así la lubricación sea del tipo fluida ó EHL. Un mecanismo puede quedar bien ó mal lubricado, dependiendo de factores tales como la viscosidad del aceite utilizado, la cantidad aplicada, el método de lubricación ó la frecuencia entre re-lubricaciones. Aún hoy en día hay personas que trabajan en el mantenimiento mecánico de las máquinas que piensan que lubricar es simplemente aplicar un aceite ó una grasa lo cual es un grave error.

2.1.2 Película Lubricante

La película lubricante permite separar las rugosidades de dos superficies que se encuentran en movimiento relativo evitando que entren en contacto directo metal-metal. La película lubricante puede ser sólida en el momento de la puesta en marcha de un mecanismo ó constituida por la unión de capas laminares cuyo número es alto si la lubricación es fluida y bajo si es EHL. El espesor de la película lubricante define el tipo de lubricación y aumenta con la viscosidad del aceite y con la velocidad de operación del mecanismo. Una de las capas que constituyen la película lubricante, ya sea bajo condiciones de lubricación fluida ó EHL, se adhiere fuertemente a la superficie en movimiento, otra a la estacionaria (ó en movimiento según el caso) y las demás se deslizan entre sí como resultado del esfuerzo a la cizalladura que se presenta entre ellas. La estabilidad de la película lubricante que se adhiere a la superficie metálica depende del índice de viscosidad del aceite, el cual si es alto reduce las probabilidades de que el tipo de flujo cambie de laminar a turbulento y que por lo tanto dicha película lubricante no se desprenda de la superficie metálica.

2.1.3 Tipos de Lubricación

La película lubricante que se forma entre dos superficies metálicas define el tipo de lubricación bajo el cual va a trabajar un mecanismo; las que se presentan en cualquier tipo de mecanismo lubricado son sólida ó límite, fluida, elastohidrodinámica e hidrostática.

Cuando el mecanismos lubricado alcanza la velocidad nominal de operación, solo puede quedar trabajando bajo condiciones de lubricación fluida ó Elastohidrodinámica (EHL), lo que hace que sea muy importante por parte de los responsables del correcto funcionamiento de los equipos rotativos, conocer la diferencia entre lubricación fluida y EHL, ya que son muchos los daños que se presentan en la práctica por no tener claros estos conceptos.

A mediados de los años de 1850, debido al desarrollo vertiginoso de la máquina de vapor y del ferrocarril en Inglaterra, la lubricación dejó de ser un arte y se empezaron a plantear las primeras formulaciones matemáticas mediante las cuales se buscaba una concordancia con los resultados prácticos de la lubricación de los elementos de máquinas. Hasta esta época el hombre lubricaba las máquinas basado en muchos años de experiencia, la cual se transmitía de una generación a otra, pero que en la práctica a medida que el diseño y la construcción de nuevas máquinas se iba presentando, los lubricantes utilizados hasta entonces no daban los resultados esperados y por prueba y error se debían buscar los lubricantes que verdaderamente sirvieran para esta aplicación en particular. Esta forma de encontrar el lubricante correcto resultaba muy costosa, por lo que era necesario recurrir a metodologías más precisas y fundamentar ecuaciones mediante las cuales al asignarles las variables de velocidad, carga y temperatura, principalmente, se pudiese hallar la viscosidad del aceite requerido.

Bajo las nuevas filosofías de entender y llevar a cabo la lubricación se desarrollaron teorías que eran aplicables perfectamente a mecanismos que operaban bajo condiciones de lubricación fluida, que eran las que se presentaban prácticamente en los mecanismos de todas las máquinas construidas hasta entonces. Con el reemplazo de la madera por el carbón como combustible en las calderas de los ferrocarriles en Inglaterra, surgió la minería y con ella nuevas máquinas cuyas condiciones de operación eran muy diferentes a las conocidas hasta entonces. Los mecanismos de estas nuevas máquinas estaban sometidos a bajas velocidades, altas cargas, y con frecuencia eran cargas de impacto, como en el caso de los molinos para triturar y pulverizar el carbón.

Como las teorías aplicables a la lubricación en ese entonces estaban basadas solamente en la lubricación fluida, estos mecanismos se desgastaban, aún cuando se lubricaran, por que los diseñadores de dichas máquinas contrarrestaban el desgaste adhesivo que se presentaba empelando materiales más resistentes al desgaste, pero muy pesados, que conllevaban a elevados consumos de energía,

tanto para poderlos mover como por fricción, generando altos costos en los procesos de producción. Solo fue hasta la década de los años 50´s, cuando mediante las investigaciones realizadas por Dowson y Higginson, se pudo llegar a diferenciar exactamente cuáles elementos de máquinas trabajan bajo condiciones de lubricación fluida y cuáles bajo EHL, lo cual conllevó al control del desgaste y a que los mecanismos alcanzaran su vida de diseño.

A. LUBRICACIÓN SÓLIDA Ó LÍMITE

Una de las condiciones más críticas en la operación de un mecanismo es en el momento en que se pone en marcha ya sea por primera vez (aún más crítica) ó después de que ha permanecido detenido durante un período de tiempo determinado. Cuando la velocidad nominal de operación de un mecanismo (engranajes, rodamientos, cojinetes lisos, cadenas, etc), disminuye, las rugosidades de las dos superficies se acercan y un gran número de ellas interactúan hasta que finalmente, cuando la velocidad es igual a cero, se entrelazan de manera semejante a como quedan los dientes de dos serruchos cuando se superponen. Es fácil imaginar lo que sucedería si en la realidad se tomasen dos serruchos y se colocaran de tal forma que todos sus dientes quedaran entrelazados y luego se le aplicara a uno de ellos una fuerza lo suficientemente alta como para ponerlo en movimiento. Como es obvio lo más probable es que un buen número de dichos dientes se fracturarían quedando inservibles los dos serruchos. Pues bien, en los mecanismos de las máquinas puede suceder lo mismo cuando se lubrican de una manera inadecuada, se utiliza un lubricante incorrecto ó éste se sigue utilizando, cuando ya se haya oxidado.

En el momento de la puesta en marcha de un mecanismo un buen número de las crestas de las rugosidades de las dos superficies se encuentran entrelazadas y su separación dependerá de la untuosidad (lubricidad) ó de los aditivos antidesgaste del lubricante que se esté utilizando; esta propiedad del lubricante se conoce como película sólida ó límite la cual aísla las rugosidades de las dos superficies metálicas, permitiendo que en el momento de la puesta en marcha del mecanismo dichas rugosidades no se “suelden” sino que se deslicen la una con respecto a la otra y se deformen elásticamente debido a las propiedades elásticas del material. Cuando el fabricante del equipo diseña los mecanismos tiene en cuenta que cuando se pongan en marcha, las rugosidades de las superficies metálicas se deformen, para una determina carga, dentro de la zona elástica del material y muy por debajo de su punto de fluencia. Si la carga es mayor que la especificada por el fabricante del equipo, la deformación de la rugosidad puede quedar dentro de la zona plástica de tal manera que cuando dicha rugosidad vuelva a interactuar con otra se fracturará dando lugar al *desgaste adhesivo* del mecanismo. “Teóricamente” durante la puesta en marcha de un mecanismo no hay desgaste siempre y cuando el lubricante garantice la formación de la película límite y el material tenga la elasticidad adecuada; sin embargo en la práctica cuando se

desgasta la película límite se presenta el contacto metal-metal entre las rugosidades de las dos superficies y persiste hasta que el aditivo antidesgaste del lubricante reaccione nuevamente con dichas rugosidades normalizando la situación e impidiendo que continúe el *desgaste adhesivo* y por lo tanto el desprendimiento de partículas metálicas.

La eficiencia de un buen lubricante para evitar el *desgaste adhesivo* en condiciones de película límite depende de la velocidad de reacción de sus compuestos de untuosidad ó de sus aditivos antidesgaste con las superficies metálicas, del espesor de la película sólida ó límite y del coeficiente de fricción de dicha película sólida. El valor del coeficiente de fricción sólida del lubricante juega un papel muy importante en la reducción del *desgaste adhesivo* ya que entre mas bajo sea su valor, la rata de desgaste de la película sólida será menor y por lo tanto también el número de contactos metal-metal dentro de un período de tiempo determinado.

B. LUBRICACIÓN FLUIDA

A medida que el mecanismo va incrementado su velocidad, las crestas de las dos superficies chocan menos y se van separando lentamente debido al bombeo de aceite originado por el movimiento de dichas superficies; antes que el mecanismo alcance su velocidad nominal de operación se presenta una condición intermedia entre lubricación sólida y fluida conocida como lubricación mixta; en este caso solo una parte de la carga es soportada por la acción hidrodinámica y la otra, por la película sólida que recubre las rugosidades que aún interactúan. Una selección incorrecta de la viscosidad del aceite al igual que una disminución de ésta en operación puede dar lugar a que el mecanismo quede funcionando bajo condiciones de lubricación mixta. Una vez que el mecanismo queda operando a su velocidad de régimen y si ésta es lo suficientemente alta, las rugosidades de las dos superficies quedarán completamente aisladas y "flotando" entre sí de manera semejante a como navega un barco sobre la superficie del agua y se tendrán por lo tanto condiciones de lubricación fluida ó hidrodinámica; en este tipo de lubricación es más influyente la velocidad del mecanismo que la viscosidad del aceite. En lubricación fluida las rugosidades de las dos superficies quedan completamente cubiertas por una capa del lubricante y las demás se deslizan entre sí presentándose entre ellas fricción fluida; la intensidad de esta fricción depende del valor del coeficiente de fricción del lubricante utilizado y del espesor de la película lubricante.

La *lubricación fluida* debe tener características de flujo laminar para garantizar que la capa limite que se encuentra adherida a las dos superficies metálicas no se desprenda (velocidad cero) evitando que el desgaste erosivo que se presenta durante la explotación normal del mecanismo sea superior a su valor normal; este tipo de flujo se caracteriza por tener un Número Reynolds menor ó igual a 2000.

En la práctica, sin embargo, si se pretendiera garantizar condiciones de flujo laminar permanentemente en la película fluida la viscosidad del aceite debería ser constante con la temperatura, lo cual en la actualidad con la tecnología disponible en lubricación no es factible, por lo que es necesario utilizar lubricantes con un índice de viscosidad (IV) lo más alto posible (mayor de 100) para garantizar que el tipo de flujo de la película lubricante no pase de laminar a turbulento durante los cambios en la temperatura de operación que se presenta como resultado de las fluctuaciones en la temperatura ambiente entre el día y la noche y mucho más en aquellos países donde hay estaciones. En lubricación se considera que la película lubricante es turbulenta a partir de 2000 debido a que las pequeñas burbujas que empiezan a formarse una vez que llegan a la zona de carga "explotan" fatigando las rugosidades y haciendo que finalmente se desprendan pequeñas partículas metálicas las cuales incrementan el desgaste erosivo normal. El Número Reynolds (Re) que define el tipo de flujo se puede calcular de la siguiente ecuación:

$$\mathbf{Re = v\ d\ /\nu}$$

Donde:

Re: Número Reynolds, adimensional.

v: Velocidad lineal del mecanismo.

d: Diámetro de la tubería, en este caso es igual al espesor de la película lubricante (h_o).

ν: Viscosidad cinemática del aceite a la temperatura de operación del mecanismo.

Se puede observar en la ecuación anterior, que el parámetro que más influye en las condiciones de flujo de la película lubricante es la viscosidad del aceite, la cual disminuye a medida que la temperatura de operación aumenta (esta temperatura está influenciada por la temperatura ambiente y por el incremento de temperatura debido a la fricción fluida en la película lubricante), este último parámetro es constante mientras que la temperatura ambiente es variable) dando lugar a que si la viscosidad disminuye significativamente con el aumento en la temperatura de operación (aceite con un bajo índice de viscosidad) las condiciones de flujo de la película lubricante pueden pasar de laminar a turbulento y por lo tanto propiciar un incremento en el *desgaste erosivo* de las superficies metálicas del elemento lubricado. Los otros parámetros de la ecuación de Reynolds como la velocidad (v) de régimen del mecanismo por ser constante no tiene ninguna incidencia mientras que el espesor de la película lubricante (h_o) al variar ligeramente con los cambios en la temperatura de operación puede incidir en la misma proporción en el tipo de flujo, pero en un porcentaje muy bajo con respecto a la que tiene la viscosidad.

La tendencia normal al *desgaste erosivo* en lubricación fluida es característica de cada aceite y se puede reducir con aceites de alto índice de viscosidad (IV), por lo regular de tipo sintético, mejorando la limpieza del aceite por encima del valor recomendado por la Norma ISO 4406 y manteniendo la temperatura de operación del mecanismo en un valor igual ó menor a los 50°C.

La teoría de la lubricación hidrodinámica fue descubierta en la década de 1880 por el inglés Beauchamp Tower; este científico realizó un experimento consistente en poner a girar un eje soportado en un cojinete liso sumergido en aceite con la carga actuando hacia arriba y colocando un tapón en un orificio practicado en la parte superior del cojinete liso, cuando el eje alcanzó su velocidad nominal de operación el tapón fue expulsado suavemente de su alojamiento comprobando de esta manera que bajo estas condiciones de operación el aceite desarrollaba una presión hidráulica que mantenía separadas las dos superficies metálicas. Posteriormente el tapón fue reemplazado por un manómetro y se comprobó que la presión hidráulica de la película lubricante era aproximadamente el doble de la presión mecánica calculada como la relación entre la carga que actuaba sobre el cojinete liso (W), y el área proyectada, que es equivalente al producto de la longitud por el diámetro del cojinete (LD). Con base en los resultados obtenidos se realizaron otros experimentos para determinar la distribución de la presión hidráulica a lo largo de la periferia de todo el cojinete liso.

La influencia de la velocidad del mecanismo y de la viscosidad del aceite en el establecimiento de la lubricación fluida

Los factores que inciden en el establecimiento de la lubricación fluida son la velocidad del mecanismo y la viscosidad del aceite que se está utilizando, pero cada uno de ellos influye de una manera específica dependiendo de las circunstancias que se presenten en el mecanismo lubricado. Si el mecanismo opera a altas velocidades, este factor será el más influyente en el logro de la lubricación fluida ó hidrodinámica y para estos casos se utilizan aceites de baja viscosidad y tanto más baja será ésta, cuanto más alta sea la velocidad de funcionamiento; por el contrario, si la velocidad es muy baja, es factible que la lubricación hidrodinámica por velocidad no se logre alcanzar y sea necesario compensar la falta de velocidad con aceites de alta viscosidad, pero entonces se presenta el inconveniente del consumo de energía por fricción fluida en el interior de la película lubricante, que será tanto mayor cuanto mayor sea la viscosidad del aceite, dando lugar a que si se quiere lograr una condición de lubricación hidrodinámica mediante el uso de aceites de alta viscosidad, no sea factible desde el punto de vista energético y de las altas temperaturas que se van a presentar en el mecanismo lubricado. En este ultimo caso se considera que la lubricación es EHL, y se deben emplear por lo tanto aditivos de EP y la viscosidad del aceite que se debe utilizar se selecciona de tal manera que garantice un consumo de energía por

fricción razonable pero que adicionalmente ayude a formar una película que proteja las superficies lubricadas sin llegar a ser fluida.

La viscosidad es el factor mas importante en el establecimiento de la película hidrodinámica cuando para una velocidad dada se tiene un valor especifico de viscosidad, en este caso, el factor que más impacta la película hidrodinámica es la viscosidad porque es la única variable que hay y si esta se reduce (altas temperaturas, sobrecargas, dilución del aceite por combustible, etc), la condición de lubricación hidrodinámica puede llegar a ser EHL sin que el aceite tenga aditivos EP dando lugar a que se presente el contacto metal-metal y por consiguiente el desgaste adhesivo entre las superficies lubricadas.

C. LUBRICACIÓN ELASTOHIDRODINÁMICA Ó EHL

En la industria hay un buen número de mecanismos como engranajes de hornos cementeros, cojinetes lisos de rodillos laminadores, rodamientos de cilindros secadores en textileras y papeleras, mecanismos de palas eléctricas y mecánicas, transmisiones de camiones carboneros, etc, en los cuales las cargas transmitidas son tan altas y las velocidades tan bajas que el suministro de aceite por la acción de bombeo de los mismos mecanismos hacia las zonas sometidas a fricción es mínimo haciendo que las rugosidades de las dos superficies en operación nunca se separen dando lugar a que permanentemente interactúen, requiriéndose por lo tanto la utilización de aceites de alta viscosidad, con aditivos que tengan la capacidad suficiente de formar una película sólida ó límite de una resistencia al desgaste adhesivo mayor que la película límite que se forma en los mecanismos cuyas superficies interactúan solamente en el momento del arranque y que luego se separan, por la acción hidrodinámica del lubricante utilizado. Este tipo de lubricación se denomina Elastohidrodinámica (EHL) y los aditivos utilizados se conocen con el nombre de Extrema Presión (EP), cuya característica más importante es que tienen la capacidad suficiente de soportar altas cargas de compresión y esfuerzos cortantes sin que se rompa la película límite.

La lubricación EHL fue descubierta por los profesores británicos Duncan Dowson y Gordon Higginson en la década de los años 50¨s, pero Duncan Dowson fue la persona que más tiempo le dedicó durante su larga carrera ingenieril, al estudio de la Tribología.

Duncan Dowson, fue un ingeniero mecánico inglés de la Universidad Británica de Leeds, quien le dedicó más de 40 años al estudio y difusión de la Tribología a nivel mundial y uno de los grandes descubridores de las teorías de la lubricación Elastohidrodinámica, aplicable hoy en día no solo a controlar el desgaste adhesivo en engranajes, rodamientos, cojinetes lisos ó en cualquier tipo de elemento mecánico sometido a altas cargas y a bajas velocidades, sino también en la

lubricación de las articulaciones humanas. Duncan Dowson nació en 1918 en un pequeño pueblo llamado Kirkbymoorside en el sur de Inglaterra, era hijo único de un herrero de nombre Wilfred Dowson por quien Duncan siempre mostró una gran admiración y de quien con frecuencia decía: "Mi padre era extremadamente diestro en su profesión hasta tal punto de ser un artista. Diseñaba sus propios herrajes; hacía trabajos para los notables de la sociedad y para la iglesia y participaba en exposiciones. Sentía una gran debilidad por los herrajes ornamentales lo que lo llevó a fabricar un sinnúmero de portones para las haciendas de la época, que aun hoy en día están en pie". Dowson siempre quiso trabajar con su padre y convertirse en uno de los mejores herreros de la época, sin embargo las recomendaciones insistentes de su madre Hannah lo llevaron por los caminos de la academia, iniciando sus estudios en Ingeniería de Minas en la Universidad de Leeds, pero al poco tiempo de iniciarlos se cambió de carrera y terminó graduándose en Ingeniería Mecánica. Su tesis doctoral la hizo sobre las teorías de la lubricación hidrodinámica aplicadas al movimiento de elementos mecánicos. En ese entonces el comentaba: "En resumen, todos los mecanismos de las máquinas flotan sobre unas delgadas capas de líquidos que obedecen a las leyes de la hidrodinámica; era la aplicación de esas leyes a estos problemas, lo que me intrigaba. Algo en lo que nunca había pensado". En 1952 Dowson se trasladó a Coventry y se unió a W.G. Armstrong en la compañía de aviación Whiteworth. Un encuentro casual en un tren con su antiguo profesor de la cátedra de lubricación Christophersson le hizo cambiar sus planes de continuar su carrera industrial en Canadá y en cambio aceptó un cargo de docente en la Universidad de Leeds suponiendo que permanecería allí por dos o tres años solamente, sin embargo se quedo allí desde entonces.

Tribología; palabra que en ese entonces fue creada por un editor del diccionario de ingles de la Universidad de Oxford, partiendo de las raíces griegas *Tribos: fricción y logos: tratado*. El término Tribología surgió como una necesidad de abarcar en un solo concepto materias tan relegadas como lubricación, rozamiento y desgaste. En los años 90´s como resultado de la necesidad de contar con procesos industriales más productivos la Tribología ha adquirido un nuevo status.

Antes del desarrollo de las teorías de la lubricación EHL, se creía que todos los mecanismos diseñados hasta ese momento, independientemente de las condiciones operacionales, trabajaban bajo condiciones de lubricación fluida y que para obtenerla era suficiente con aplicar un aceite (ó una grasa) de una determinada viscosidad, sin embargo en la práctica se presentaban problemas de desgaste adhesivo en aquellos mecanismos que funcionaban bajo condiciones de altas cargas y bajas velocidades, siendo más crítico, cuando el movimiento era oscilatorio, ó los períodos de operación eran muy cortos. El análisis de estos

problemas de desgaste adhesivo condujo al desarrollo de las teorías de la lubricación EHL, fundamentadas en sus comienzos más en la experiencia y en la práctica de la lubricación diaria que en procesos de cálculos matemáticos; sin embargo desde su descubrimiento hasta los tiempos actuales se han desarrollado planteamientos matemáticos que permiten establecer con mucha precisión cuales mecanismos en realidad trabajan bajo condiciones de lubricación EHL y en cuales dicha lubricación es hidrodinámica.

En la lubricación EHL, las rugosidades de las superficies de fricción trabajan siempre interactuando entre sí, y nunca llegan a separarse a la velocidad nominal de operación, en este caso las crestas de las rugosidades permanentemente se están deformando elásticamente y el control del desgaste adhesivo y el consumo de energía dependerán de las características de la película límite adherida a las rugosidades y de la forma geométrica que tengan éstas. La película lubricante que forman los aditivos EP se puede denominar como sólida ó límite pero de unas características de soporte de carga y de resistencia al desgaste adhesivo mucho más resistentes que la que forman los aditivos antidesgaste en el caso de la lubricación hidrodinámica. En la lubricación EHL las condiciones de película límite son permanentes, ó sea que hay mucha similitud entre las condiciones de la puesta en marcha del mecanismo y cuando éste alcanza la velocidad de régimen ó nominal.

La lubricación Elastohidrodinámica se divide en dos conceptos fundamentales en los cuales *Elasto* significa elasticidad, ó sea que las crestas de la rugosidad de una de las superficies del mecanismo en el momento de la interacción con las de la otra superficie se deforman elásticamente sin llegar al punto de fluencia del material bajo unas condiciones determinadas de carga y temperatura y luego una vez que termina de actuar la carga regresan a su posición original; *Hidrodinámica* significa que a pesar de que la velocidad de funcionamiento del mecanismo no es la óptima para que se desarrolle una película hidrodinámica, no obstante, ésta se forma a un nivel más microscópico debido a que el aceite que queda atrapado entre las dos crestas deformadas elásticamente ejerce una presión hidráulica entre ellas formando una película fluida de un espesor mucho menor que el que tendría la que se forma en un mecanismo que funciona bajo condiciones de lubricación fluida. El aumento de la viscosidad del aceite debido a la presión y la deformación elástica de las crestas de las superficies se combinan para atrapar el lubricante en el momento en que éste penetra en la zona de contacto; la viscosidad del aceite puede llegar a ser hasta cinco veces mayor que la viscosidad que tiene a la entrada de las rugosidades y la película lubricante puede desarrollar presiones hasta de 350.000 psi. En la lubricación hidrodinámica el espesor de la película lubricante puede ser del orden de los 5 μm en adelante, mientras que en la lubricación EHL

de 2 μm ó menos. Estos espesores de película lubricante tan pequeños hacen más susceptibles al desgaste erosivo y abrasivo los mecanismos que funcionan bajo condiciones de lubricación EHL, siendo necesario por lo tanto mantener los aceites que se utilizan en su lubricación dentro de códigos ISO 4406 de limpieza más rigurosos.

La criticidad de la lubricación EHL depende del valor del coeficiente de fricción de la película lubricante λ (lambda), es mayor en la medida que λ sea mucho menor del valor que la define como lubricación EHL, y de la forma como interactúen las rugosidades de las dos superficies metálicas, así si "deslizan" en situaciones de mecanismos como cojinetes lisos y engranajes sinfín-corona es más crítica que cuando "engranan" y "desengranan" como en el caso de rodamientos y engranajes de dientes rectos y helicoidales (en el diámetro de paso) entre otros. Dependiendo del valor de λ, el aceite debe tener aditivos de EP, de 1ra, 2da ó de 3ra generación.

TIPO DE ADITIVOS DE EP DE ACUERDO CON EL VALOR DE λ

No	Mecanismo	Tipo de aditivo EP			
		Valor de λ			
		1ra generación	2da generación	3ra generación	Lubricación Hidrostática ó similar
01	Rodamientos	0,5≤ λ <2,5	0,1 ≤ λ <0,5	0,05≤ λ < 0,1	λ < 0,05
02	Cojinetes lisos	0,5≤ λ < 2,0	0,1 ≤ λ <0,5	0,05≤ λ < 0,1	λ < 0,05
03	Engranajes	0,5≤ λ < 1,5	0,1 ≤ λ <0,5	0,05≤ λ < 0,1	λ < 0,05

Para determinar si un mecanismo trabaja bajo condiciones de lubricación fluida ó EHL, se calcula λ, de acuerdo con el tipo de mecanismo lubricado, el cual teóricamente si es menor de 1 las condiciones de lubricación son EHL y si es igual ó mayor a este valor es fluida. Sin embargo, si se considera que a partir de 1 la película lubricante es fluida se estará trabajando bajo condiciones de alto riesgo ya que si la temperatura ó la carga aumentan ligeramente, el espesor de la película lubricante disminuirá y por lo tanto λ será menor de 1 cambiando las condiciones de lubricación fluida a EHL sin que el lubricante tenga los aditivos EP requeridos para esta nueva condición debido a que la lubricación inicialmente era fluida y por lo tanto el aceite utilizado no tenía aditivos EP, presentándose por lo tanto el desgaste adhesivo de los elementos lubricados. Para evitar estos problemas se han

establecidos valores de λ, mucho más conservativos, para los diferentes mecanismos lubricados a partir de los cuales la lubricación es EHL ó fluida,

TIPO DE LUBRICACIÓN DE ACUERDO CON EL VALOR DE λ

No	Mecanismo	Valor de λ	
		Tipo de lubricación	
		EHL	Fluida
01	Rodamientos	$< 2,50$	$\geq 2,50$
02	Cojinetes lisos	$< 2,00$	$\geq 2,00$
03	Engranajes	$< 1,50$	$\geq 1,50$

D. LUBRICACIÓN HIDROSTÁTICA

Consiste en bombear aceite entre dos superficies estacionarias (normalmente un eje y un cojinete liso) altamente cargadas con el fin de separarlas evitando así que se presente el desgaste adhesivo en el momento en que una de ellas (ó las dos) se ponga en movimiento. Este tipo de lubricación se puede considerar como una lubricación hidrodinámica artificial a baja velocidad en la cual el aceite utilizado no requiere aditivos de Extrema Presión; es poco común y se utiliza casi exclusivamente en cojinetes lisos sobrecargados en el momento de la puesta en marcha como es el caso de los cojinetes de empuje verticales de generadores accionados por turbinas hidráulicas del tipo pelton, cojinetes lisos de molinos de bolas en la industria del cobre y del oro, etc. Estos cojinetes reciben el nombre de cojinetes hidrostáticos. Una vez que el mecanismo alcanza su velocidad nominal de operación la bomba sigue suministrando el flujo de aceite requerido para mantener separadas las dos superficies. Este tipo de lubricación requiere que el sistema de lubricación, cuente con una bomba auxiliar, ya que si la bomba que está trabajando sale de servicio, y no se cuenta con bomba auxiliar, el cojinete hidrostático fallaría catastróficamente. Adicionalmente, la mayoría de estos sistemas, tienen un depósito de aceite elevado, a una determinada altura, y con un gas (por lo regular N_2), a una determinada presión, para que en caso de que falle la bomba auxiliar, garantice el suministro de aceite durante el tiempo de parada del eje.

En los cojinetes lisos lubricados hidrostáticamente y que soportan ejes horizontales el aceite es atomizado a una presión mayor que la que desarrolla la carga sobre el área de trabajo a través de un bolsillo ubicado en la parte inferior de la superficie de fricción del cojinete liso. En los cojinetes de empuje verticales el bolsillo está ubicado en el eje que gira.

2.2 LOS LUBRICANTES

Son sustancias sólidas, semisólidas ó líquidas de origen animal, vegetal, mineral o sintético, que pueden utilizarse para reducir el rozamiento entre piezas y mecanismos en contacto y en movimiento.

2.2.1 Tipos de lubricantes

Como lubricantes sólidos podemos citar el grafito ó el bisulfuro de molibdeno. Se utilizan principalmente en aquellas condiciones en donde los lubricantes líquidos son incompatibles ó de difícil aplicación (trabajo a muy bajas presiones, altas temperaturas, etc.)

El ejemplo más común de lubricante líquido, son los aceites ampliamente utilizados en automoción y muchas aplicaciones industriales (turbinas, compresores, reductores, etc.)

Las grasas, en las que un aceite líquido es retenido por un agente espesante, son los lubricantes semisólidos más conocidos y empleados.

2.2.2 Orígenes de los lubricantes

Ha mediados del siglo XIX los aceites utilizados eran de origen animal o vegetal. Estos tenían grandes limitaciones, pero a partir del hallazgo del petróleo, y con la invención de la destilación al vacio, se descubrió que el residuo ceroso era el mejor lubricante que cualquiera de las grasas animales utilizadas por aquel entonces; lo cual dio origen la moderna tecnología de refinamiento de aceites a partir de hidrocarburos.

2.2.3 Obtención de los Aceites Minerales

Los aceites minerales nacen de dos operaciones básicas de la refinación del petróleo: la destilación atmosférica y la destilación al vacio. a partir del producto residual de la destilación atmosférica, conocido como crudo reducido, es posible obtener si se desea las llamadas bases de aceites minerales. Para ello se re-destila nuevamente pero en condiciones de vacio. Generándose fracciones especificas denominadas especialidades neutro ligero y neutro por medio de otros procesos de la refinación, es posible mejorara las cualidades de la s bases de aceites minerales. Los procesos más significativos para lograrlos son:

- Desasfaltado con solventes
- Extracción de solventes
- Des parafinado con solventes
- Hidrotratamiento
- Tratamientos con tierra decolorantes
- Tratamientos con ácidos

Los aceites refinados por uno o varios de los procesos anteriormente descritos, conforman a las llamadas bases minerales o simplemente bases.

Sin embargo las bases por si solas son generalmente insuficientes para satisfacer los requisitos físicos o químicos que se le requiere; por eso dentro de la misma refinería de petróleo, o en otro establecimiento, las bases son mezcladas con ciertos aditivos, dando origen a los aceites lubricantes o lubricantes.

2.2.4 Funciones de los Lubricantes

Los lubricantes no solamente disminuyen el rozamiento entre los materiales, sino que también desempeñan otras importantes misiones para asegurar un correcto funcionamiento de la maquinaria, manteniéndola en estas condiciones durante mucho tiempo. Entre estas otras funciones, cabe destacar las siguientes:

- Refrigerante
- Eliminador de impurezas
- Sellante
- Anticorrosivo y antidesgaste
- Transmisor de energía

El lubricante correctamente aplicado consigue:

- Evitar el desgaste por frotamiento
- Ahorrar energía, evitando que se pierda en rozamientos inútiles que se oponen al movimiento, y generan calor.

A. Refrigeración

El aceite contribuye a mantener el equilibrio térmico de la máquina, disipando el calor que se produce en la misma como consecuencia de frotamientos, combustión, etc. Esta función es especialmente importante (la segunda más importante después de lubricar), en aquellos casos en que no exista un sistema de refrigeración, ó éste no tenga acceso a determinados componentes de la máquina, que únicamente puede eliminar calor a través del aceite (cojinetes de biela y de bancada, parte interna de los pistones en los motores de combustión interna). En

general, se puede decir que el aceite elimina entre un 10% y un 25% del calor total generado en la máquina.

B. Eliminación de impurezas

En las máquinas y equipos lubricados se producen impurezas de todo tipo; algunas por el propio proceso de funcionamiento (como la combustión en los motores de explosión), partículas procedentes de desgaste o corrosión y contaminaciones exteriores (polvo, agua, etc.). El lubricante debe eliminar por circulación estas impurezas, siendo capaz de mantenerlas en suspensión en su seno y llevarlas hasta los elementos filtrantes apropiados. Esta acción es fundamental para conseguir que las partículas existentes no se depositen en los componentes del equipo y no aceleren un desgaste en cadena, puedan atascar conductos de lubricación o producir consecuencias nefastas para las partes mecánicas lubricadas. Podemos decir que el lubricante se ensucia para mantener limpia la máquina.

C. Anticorrosivo y antidesgaste

Los lubricantes tienen propiedades anticorrosivas y reductoras de la fricción y el desgaste naturales, que pueden incrementarse con aditivos específicos para preservar de la corrosión diversos tipos de metales y aleaciones que conforman las piezas y estructuras de equipos ó elementos mecánicos.

D. Sellante

El lubricante tiene la misión de sellar aquellas zonas en donde puedan existir fugas de otros líquidos ó gases que contaminan el aceite y reducen el rendimiento del motor. La cámara de combustión en los motores de combustión interna y los émbolos en los amortiguadores hidráulicos son dos ejemplos donde un lubricante debe cumplir esta función.

E. Transmisor de energía

Es una función típica de los fluidos hidráulicos en los que el lubricante además de las funciones anteriores, transmite energía de un punto a otro del sistema.

2.2.5 Composición de los Lubricantes

Los lubricantes se componen de aceites base y una serie de aditivos modificadores de las propiedades de estos aceites.

Los aceites base pueden provenir del refino del petróleo ó bien de reacciones petroquímicas. Los primeros son los denominados aceites minerales y los segundos son conocidos como aceites sintéticos.

Los aceites base de tipo mineral (bases minerales) están constituidos por tres tipos de compuestos: parafínicos, nafténicos y aromáticos, siendo los primeros los que se encuentran en mayor proporción (60 -70%), por tener las mejores propiedades lubricantes, pero siempre hay compuestos nafténicos y aromáticos que aportan

propiedades que no tienen las parafinas (comportamiento a bajas temperaturas, poder disolvente, etc.)

Las bases sintéticas son sustancias prácticamente puras que poseen ciertas características especiales que las diferencian de las bases minerales, como son:

- Mejores propiedades lubricantes
- Mayor índice de viscosidad
- Mayor fluidez a baja temperatura
- Mayor estabilidad térmica y a la oxidación
- Menor volatilidad

Aunque actualmente su importancia es creciente, su consumo se ve limitado por el elevado coste de obtención. Su principal utilización es la fabricación de aceite de automoción de muy alta calidad, especialmente para motores de gasolina.

El aceite base no puede cumplir, por sí sólo, todas las funciones descritas con anterioridad. Tampoco podría soportar las condiciones a veces críticas de funcionamiento de los equipos. Por esta razón, es necesario aditivar los aceites con ciertas sustancias que varían según:

A. La aplicación del lubricante:

- Motor
- Engranajes
- Sistemas hidráulicos
- etc.

B. Las condiciones de trabajo:

- Monogrado ó Multigrado
- Gasolina ó Diesel
- etc.

C. Nivel de prestaciones que se desea alcanzar:

- Clasificación ACEA
- Clasificación API

- Clasificación SAE
- Clasificación CCMC
- Normas MIL
- Especificaciones de fabricantes

Existen diferentes aditivos que pueden clasificarse según su función específica, en los siguientes grupos:

A. Mejoradores de las propiedades físicas

- Índice de viscosidad
- Punto de congelación

B. Mejoradores de las propiedades químicas

- Antioxidantes
- Anticorrosivos

C. Mejoradores de las propiedades físico-químicas

- Detergentes
- Dispersantes
- Antidesgaste
- Antiherrumbe
- Antiespumantes

2.2.6 Protección del equipo

Durante la vida útil de servicio, cualquier maquinaria y el aceite que la lubrica, están expuestos a la acción nociva de diversos agentes como son el oxígeno y la humedad del aire, altas presiones y temperaturas desarrolladas, productos químicos originados por el propio proceso de funcionamiento, etc.... Un buen lubricante debe ser capaz de resistir estos agentes perjudiciales, esto es, tener estabilidad y evitar, además, que ataquen los distintos componentes del equipo para conseguir una larga vida del mismo.

En orden a mejorar su estabilidad, el aceite base incorpora aditivos antioxidantes que reaccionan con agentes como el oxígeno, radicales libres ó peróxidos, neutralizando el poder oxidante de éstos frente al aceite. Es decir, los aditivos antioxidantes se oxidan para evitar la oxidación del aceite, y se consumen, por lo

que llega un momento en que es necesaria la sustitución del aceite. Es importante mencionar que la estabilidad térmica no puede ser mejorada con aditivos, y depende exclusivamente de la composición química del aceite base.

Para proteger el equipo de todas las sustancias que pueden resultar nocivas, el aceite base necesita mejorar sus propiedades intrínsecas con aditivos:

- Antiherrumbre, que retardan la oxidación de los metales de la maquinaria.
- Anticorrosivos, que protegen los metales frente a los agentes químicos.
- Antidesgaste, que modifican la fricción entre las piezas en movimiento, en orden a disminuir su desgaste.
- Detergentes y dispersantes, que rodean las partículas extrañas y las mantienen en suspensión y dispersas en el aceite, e impiden que se depositen en los distintos componentes de la maquinaria.
- Extrema presión. Son aditivos en los lubricantes de engranajes y protegen en condiciones de lubricación límite.
- Antiaire y antiespuma, que eliminan el aire que pueda quedar ocluido en el seno del aceite y evitan la formación de espuma en el mismo.

2.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS LUBRICANTES

Los lubricantes son sustancias que se componen de aceite base y de una serie de aditivos que potencian o confieren las propiedades que el aceite base por si solo no es capaz de alcanzar. A continuación vamos a ver algunas de esas propiedades.

2.3.1 Viscosidad

Es la propiedad fundamental y más importante de un lubricante líquido. Se puede definir como su resistencia a fluir ó lo que es lo mismo, la medida del rozamiento interno de sus moléculas.

No hay que confundir términos de untuosidad ó densidad con viscosidad. La untuosidad es la adherencia de las partículas a las superficies metálicas, incluso en posición vertical. Debido a la untuosidad, las superficies metálicas permanecen con una capa fina de lubricante incluso tras largo tiempo después de haber sido aportado el lubricante. La densidad es el peso de una materia en relación al volumen que ocupa. No aporta ninguna propiedad a los lubricantes.

La viscosidad en un fluido depende de la presión y de la temperatura:

- *Al aumentar la temperatura disminuye la viscosidad.*
- *Al aumentar la presión aumenta la viscosidad.*

La medida de la variación de la viscosidad con la temperatura es el índice de viscosidad. A mayor índice de viscosidad, mayor resistencia del fluido a variar su viscosidad con la temperatura. El índice de viscosidad se mejora con los aditivos mejoradores del índice de viscosidad.

2.3.2 Diferentes escalas de medida de Viscosidad

Existen varias escalas para medir la viscosidad de un fluido; Las más usadas son la SAE y la ISO. Podemos ver tres tipos de escalas:

- Escalas en grado SAE para aceites motor.
- Escalas en grado SAE para aceites de engranajes
- Escalas en grados ISO para aceites Industriales.

Existe una correlación de equivalencia entre las distintas escalas. La primera de ellas es aplicable para aceite motor, y la segunda para engranajes. Esta diferenciación fue realizada para evitar posibles equivocaciones en la aplicación de un producto u otro lo que podría motivar la destrucción de la maquinaria. Una tercera escala, la ISO se aplica a los aceites industriales.

2.3.3 Aceites Multigrado / Monogrado

Como hemos visto, los aceites tienen la característica de modificar su viscosidad con la temperatura, siendo el índice de viscosidad el parámetro que mide la resistencia del fluido a modificarla.

Un aceite monogrado presenta un comportamiento correcto en unas concretas y limitadas condiciones de temperatura ambiente, dependiendo de su grado SAE. Así los aceites acompañados de la sigla W aseguran un comportamiento determinado en frío lo cual los hace aptos para funcionar en invierno, los que no presentan la sigla W no garantizan un buen comportamiento en frío, por lo que solo son recomendables para verano.

Un aceite multigrado parte de un aceite tipo W al cual se le añaden mejoradores del índice de viscosidad. De esta forma se asegura el comportamiento en frío del aceite, pero al aumentar la temperatura la estabilización de la viscosidad debida a la aditivación permitirá al aceite comportarse como un fluido de verano, garantizando la correcta lubricación. Así, un aceite multigrado de grado SAE 15W40, se comportará en frío como un SAE 15W con la consiguiente facilidad para ser bombeado y garantizar una correcta lubricación desde el arranque, pero al aumentar la temperatura del aceite este actuará como un SAE 40 garantizando una viscosidad adecuada a alta temperatura y una película lubricante estable.

Puede parecer que la diferencia entre un monogrado y un multigrado se limita solo a su comportamiento frente a los cambios de temperatura ambiente, pero no es solo así, sino que además un lubricante multigrado es también más estable frente a los grandes cambios de temperatura a los que se ve sometido un motor (90 °C en el cárter frente a 300 °C en las partes más calientes) evitando su descomposición por el choque térmico, siendo más estable térmicamente. Por este motivo los aceites multigrados tienen mayor duración de uso que los monogrados, además de alargar la vida de los equipos.

El grado de viscosidad SAE no constituye ni medida de la calidad ni da una idea de la aplicación del lubricante.

2.3.4 Detergencia: TBN

La detergencia es una de las propiedades que deben tener los lubricantes para motores. Su misión reside en mantener en suspensión las partículas contaminantes en el seno del aceite, evitando que entren en contacto con las partes metálicas. Estos aditivos tienen, total o parcialmente, una naturaleza químicamente básica y confieren al aceite una reserva alcalina denominada TBN (Total Base Number) que permite al aceite neutralizar el ácido sulfúrico formado en la combustión del Diesel, debido al azufre presente en la composición de éste. Este hecho puede tener relevancia en motores Diesel.

El TBN, por ser una reserva alcalina, es una medida de componentes del aceite químicamente activos, que proporcionan elevados contenidos en cenizas metálicas, y que pueden ser tan perjudiciales como los ácidos de la combustión, si están presentes en exceso. Por ello, no es conveniente utilizar un lubricante de elevado TBN en aquellos motores que no vayan a hacer uso de él, pues podrían sufrir un ataque químico innecesario.

TBN: últimas tendencias

Históricamente, y debido al elevado contenido en azufre de los Diesel, la formación de cantidades apreciables de ácido sulfúrico en el seno de los motores era habitual, por lo que los aceites debían poseer reservas alcalinas elevadas para neutralizarlo, es decir, TBN altos.

Actualmente, las normativas medioambientales regulan y limitan extraordinariamente el contenido en azufre de los Diesel, que va siendo cada vez menor. Por ello, la misión de los aditivos detergentes tradicionales de neutralización del posible ácido sulfúrico procedente de dicho azufre va siendo cada vez menos relevante.

De hecho, modernamente se ha desarrollado una nueva tecnología de aditivos detergentes de bajo contenido metálico y baja alcalinidad que cumplen a la perfección su misión de mantener limpio el motor, llevando las partículas

contaminantes en suspensión y depositándolas en los filtros. Estos aditivos dejan menos residuos y crean menos cenizas.

Por su baja alcalinidad, estos aditivos confieren al aceite más bajos TBN (que mide exclusivamente la alcalinidad del aceite), lo cual no es para nada indicativo de su capacidad de mantener limpio el motor, tarea que desempeñan perfectamente, como ya hemos mencionado anteriormente. Lo único que indica un TBN bajo es una menor capacidad que los antiguos aceite de TBN elevados para neutralizar el posible ácido sulfúrico que se puede llegar a formar por el azufre del Diesel. Como ya hemos indicado, los bajos contenidos en azufre de los Diesel actuales no justifican, en ningún caso, la necesidad de TBN elevados.

Por tanto, y en conclusión, habremos de acostumbrarnos a no juzgar la calidad de un lubricante por su valor de TBN. De hecho, los aceites más modernos, formulados con la más reciente tecnología en aditivos detergentes, presentan generalmente TBN inferiores a 12.

2.3.5 Niveles de calidad del aceite

Para determinar el nivel de calidad de un aceite, hay que recurrir a las aprobaciones y especificaciones internacionales emitidas por organismos que certifiquen mediante pruebas y ensayos el nivel de rendimiento de un aceite.

Las más extendidas clasificaciones son las API, ACEA y CCMC a nivel internacional, además de las de algunos constructores que realizan sus propios ensayos a los aceites para certificar los más adecuados para sus equipos, como son Mercedes Benz, Ford, Volkswagen...

2.4 ACEITES PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN

2.4.1 Sistemas de Lubricación del motor

Puede ser de varios tipos:

- Barboteo o salpicadura
- A presión forzada
- Por mezcla en el combustible

Barboteo o salpicadura

Puede ser a su vez de dos tipos:

- Salpicadura simple
- Salpicadura mejorada semicirculante

Salpicadura Simple.

Este método consiste en depositar el aceite en una bandeja, de forma que las cabezas de biela entren un poco en el líquido durante la rotación del cigüeñal. Las cabezas mencionadas se dotan de unas “cucharillas” que se encargan de golpear el aceite, con el fin de hacerlo salpicar mientras el motor funciona. De esta suerte las salpicaduras del lubricante llegan a los muñones del cigüeñal, a las paredes de los cilindros y a otras partes que deben lubricarse.

A elevadas velocidades del motor, el ambiente interior del cárter es un remolino continuo de lubricante pulverizado por la intensa agitación que recibe.

Salpicadura Mejorada Semicirculante.

Se diferencia del anterior, en que se coloca una bomba en el fondo del cárter y sumergida en la masa de aceite, eleva éste por tuberías hasta las bandejas o “pocillos”, una debajo de cada biela, donde el nivel resulta constante aunque varíe la masa del cárter.

La cabeza de la biela lleva una “cucharilla” hueca de modo que con ella se asegura su engrase y al mismo tiempo salpica en todas las direcciones el aceite, formándose en el interior del cárter una especie de niebla que moja abundantemente las paredes; en éstas hay ranuras inclinadas y canales donde se recoge el aceite que resbala y se hace llegar a los pocillos donde, por agujeros en su fondo pasa a engrasar los cojinetes del cigüeñal, árbol de levas, engranajes, etc. Las paredes del cilindro se lubrican por la niebla aceitosa.

Lubricación a Presión Forzada

En su forma más completa consiste en una bomba que recoge el aceite del cárter y lo envía a presión por el tubo dibujado en el esquema que se presenta y con la dirección que marcan las flechas, a engrasar los apoyos del cigüeñal y , desde ellos, por los conductos perforados en los codos del cigüeñal, a las cabezas de biela.

Desde aquí puede seguir por otro tubo a lo largo de las bielas a lubricar los bulones, por los que rebosa a las paredes de los cilindros.

Lo más corriente es que la conducción a presión termine en las cabezas de biela.

En cualquier caso, como el aceite que rebosa es salpicado en todas direcciones, se forma en el interior del cárter una espesa niebla aceitosa, se lubrica todo el motor en la forma explicada por barboteo o salpicadura.

Mezcla en el Combustible

En motores a gasolina de dos tiempos (2T) es convencional la lubricación con mezcla, la cual se realiza en el depósito de combustible del motor, en una proporción definida por los fabricantes, dependiendo si los motores son enfriados por aire o por agua. Las proporciones más utilizadas son: 20 / 1, 30 / 1, 50 / 1.

2.4.2 Clasificaciones normalizadas de aceites lubricantes

Los lubricantes pueden ser clasificados:

En función de sus propiedades y características físico - químicas

- Según su origen
- Según su presentación
- Por sus usos y aplicaciones

Todas estas variables están normalizadas por distintas instituciones, dando lugar a los sistemas de clasificación, mostrados en la tabla siguiente, donde:

ASTM: Asociación de estandarización de pruebas y ensayos de materiales

API: Instituto Americano del Petróleo

SAE: Sociedad Americana de Ingenieros Automotrices

ISO: Organización Internacional de Estándares

AGMA: Sociedad Americana de Fabricantes de Engranajes

NLGI: Instituto Nacional de Grasas Lubricantes

CCMC: Comité de Constructores de Automóviles del Mercado Común

MIL: Militar (Ejército de los Estados Unidos)

Sistema	Unidad de Viscosidad	Temperatura	Servicio (Calidad-Aditivos)	Consistencia Grasa
ASTM	Segundos Saybol Universal (S.S.U.)	100°C		
ISO	Centistokes (CST)	40 - 100°C		

Sistema	Unidad de Viscosidad	Temperatura	Servicio (Calidad-Aditivos)	Consistencia Grasa
AGMA	SSU CST	100°C 37.8°C		
SAE	CST	40 - 100°C		
MIL	SSU		X	
API			X	
CCMC			X	
NLGI				X

Como puede observarse la mayoría de las clasificaciones de los lubricantes se basan en el método de medición de la viscosidad.

2.4.3 Aceites para motores de gasolina

La evolución en el desarrollo de los motores de gasolina ha sido constante en los últimos años, buscando cada vez obtener mayores rendimientos en los mismos, a base de aumentar la potencia específica de los motores, mejorando la aerodinámica de las carrocerías, y buscando cada vez diseños más ecológicos con menores emisiones de gases nocivos.

Todas estas mejoras tecnológicas en los motores traen paralelamente una mejora constante en la lubricación de los mismos, ya que los requisitos que el aceite debe satisfacer son más altos con cada diseño.

Aumento de la potencia especifica:

Las mejoras introducidas en los motores en busca de obtener diseños con mayor potencia, pasan por incluir ciertos elementos que proporcionan ese objetivo, como culatas multi-válvulas, turbo compresores, mecanismos variadores de la distribución, inyección electrónica..., además de utilizar materiales de menor peso como el aluminio, una mejora sensible en los procesos de fabricación obteniéndose menores tolerancias de producción y mejores acabados en los mecanizados, con lo que el ajuste del motor es muy superior.

Los motores de esta generación funcionan a elevados regímenes de giro requiriendo en su lubricación aceites capaces de aportar la viscosidad adecuada para obtener una película lubricante estable al cizallamiento y de un espesor

adecuado para asegurar que el aceite entre en todos los resquicios del motor, por pequeña que sea la tolerancia con que ha sido definido el mecanismo a lubricar.

Otro fenómeno muy representativo es la formación de barros negros ó "Black Sludge". Se debe al efecto de compactación de los residuos y suciedades que hay disueltos en el aceite y que tienden a formar capas de barro en las zonas frías del motor, como culata ó distribución.

Este fenómeno se produce con gran facilidad en los motores que realizan pocos kilómetros diarios, dado que el corto intervalo de tiempo que hay entre la arrancada y la parada del motor no permite que el aceite pueda dispersar todos los residuos que pueda haber en el cárter. El problema se acrecienta en vehículos que circulan en ciudad y que ni siquiera alcanzan las suficientes revoluciones. Asimismo la formación de barros negros se ve favorecida por el uso de gasolina sin plomo, como veremos más adelante.

Vemos, en conclusión, en este apartado como la necesidad de lubricantes de alta calidad en los motores se pone de manifiesto tanto en servicios de alta velocidad como en la conducción urbana diaria que realizan la mayor parte de los usuarios.

Aerodinámica:

La aerodinámica es junto con la mayor potencia y el menor peso de los vehículos otro de los puntos en los que se ha incidido para obtener mayores prestaciones en los vehículos. El menor rozamiento de la carrocería en el aire cuando el vehículo va circulando permite a este alcanzar mayores velocidades y por lo tanto el motor girará también a mayores revoluciones.

Las mejoras aerodinámicas suponen que el vehículo corte el aire formando y minimizando turbulencias; y presentando por lo tanto la menor superficie frontal posible. De esta manera los flujos de aire por el interior del vehículo se han disminuido sensiblemente, con lo que el intercambio calorífico de las distintas partes del motor es menor y hace que el aceite trabaje en ciertas zonas (como el cárter) a mayor temperatura.

Esto exige en el lubricante una serie de requisitos, como:

•**Índice de viscosidad elevado y estable:** Esta propiedad permite al lubricante mantener una viscosidad suficiente a elevadas temperaturas. Un elevado índice de viscosidad supone una mejor y más estable lubricación en caliente en motores de alto régimen de funcionamiento.

•**Mayor resistencia térmica:** Los aceites de alta calidad lo son por ser más resistentes a la degradación térmica, evitando la acumulación de productos de descomposición pesados que elevarían la viscosidad del aceite.

Diseños Ecológicos:

La mayor preocupación de los fabricantes hoy en día es realizar motores de baja emisión, con el fin de acomodarse a la legislación en términos medio ambientales. De hecho, la mayoría de los vehículos de gasolina que se comercializan salen ya equipados con convertidores catalíticos de tres vías para adaptarse a la legislación vigente.

En términos de vehículos catalizados, el primer punto que encontramos es el uso de la gasolina sin plomo.

El plomo, además de ser el compuesto anti-detonante de la gasolina, tenía dos misiones fundamentales:

•**Lubricar**, ya que este elemento tiene unas excelentes propiedades lubricantes siendo fundamental este papel en las válvulas.

•**Dispersar**, ya que el plomo que pasaba al aceite a través de pequeñas fracciones de gasolina que contaminaban el aceite ayudaba a éste a mantener en dispersión las suciedades evitando así la formación de los barros negros ó "Black Sludge".

Los compuestos aromáticos que sustituyen al plomo como compuesto antidetonante son además potenciadores de la formación de barros negros.

Es evidente que los niveles de poder dispersarte de los aceites modernos han de ser muy superiores a los que se utilizaban anteriormente para paliar el efecto tan negativo que supone para la lubricación la ausencia de plomo en la gasolina.

El catalizador por otra parte es un elemento cerámico recubierto de metales nobles y que tiene la misión de completar la combustión de la gasolina para que de esta manera se minimicen las emisiones de compuestos nocivos.

Este catalizador es físicamente un cilindro con celdillas de muy pequeña dimensión normalmente rectangulares, que lo atraviesan longitudinalmente y a través de las cuales deben pasar los gases de escape para ser catalizados. El catalizador perderá su actividad si dichas celdillas se ven taponadas por un aporte de residuos de la combustión.

Es evidente que siempre va a pasar lubricante a las cámaras de combustión, bien a través de los cilindros, bien a través del recuperador de los gases de escape, por lo que el lubricante al quemarse tenderá a formar depósitos que taponan al catalizador.

Son pues necesarios para prolongar la vida del catalizador aceites de alta calidad, con cortes de destilación estrechos que no dejen residuos pesados al quemarse, y

con baja volatilidad para minimizar la emisión de gases del lubricante a las cámaras de combustión.

La menor volatilidad implica menores pérdidas por evaporación lo que reduce el consumo de aceite y origina un menor número de partículas en el gas de escape, contribuyendo a aumentar la eficacia y la vida útil del catalizador. También se consigue con aceites de elevadas propiedades intrínsecas (aceites sintéticos), que no necesitan mucha aditivación, ya que los aditivos son los causantes en gran parte, y debido a su composición, del ensuciamiento del catalizador.

2.4.3.1 Niveles de calidad

Niveles API para motores de gasolina:

Las categorías API para motores a gasolina comienzan siempre con la letra S, según API. La segunda letra de la categoría indica un progreso en la calidad del aceite. Comenzando con la A, los aceites se han ido perfeccionando cada vez más hasta llegar actualmente a la M. De acuerdo con ACEA, la secuencia comienza con la letra A y luego un nº, que por el momento va desde 1 hasta 5, progresando la calidad a medida que aumenta este número.

Los aceites calificados por API como SM y por ACEA como A5 son los de mayor calidad para motores gasolineros.

Las iníciales SA, SB, SC, SD, y SE se encuentran actualmente obsoletos, y a medida que aumenta la calidad exigida al aceite, éste es calificado como SF, SG, SH, SJ.

•***API SF*:** Surge en los años 70. No apto para vehículos sin catalizador.

•***API SG*:** Primer nivel apto para vehículos catalizados. Apto para todo tipo de motores de gasolina.

•***API SH*:** Aceites API SG de alto nivel. Economizadores de combustible.

•***API SJ:*** Aparecido en 1.997 con ensayos específicos para bajas viscosidades.

•***API SL:*** Aparecido en julio de 2001, Representa fundamentalmente un aumento en el control de la oxidación con el nuevo ensayo Sequence IIIF.

•***API SM*:** Para todos los motores de automóvil en uso en la actualidad. Los aceites SM, introducidos en el año 2004, están diseñados para brindar una mayor resistencia contra la oxidación, una mejor protección contra la formación de depósitos, una mejor protección contra el desgaste, y un mejor desempeño a baja temperatura durante la vida del aceite. Algunos aceites SM pueden cumplir además con la especificación ILSAC más reciente y/o calificar como Energy Conserving

En Europa, el Comité de Constructores del Mercado Común (CCMC), estableció en 1977 su propia clasificación, en base a ensayos realizados con motores europeos.

En la actualidad, y en pro de tener un sistema de clasificación de aceites más acorde a los adelantos aparecidos en la industria de la automoción, y para que éstos se vean reflejados en las necesidades de mejora de calidad de los aceites lubricantes que necesitan, la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles, ACEA, (European Automobile Manufacturers Association) ha creado un nuevo sistema de clasificación, y a la vez todo el sistema de pruebas que lleva consigo, para definir estos diferentes tipos de calidad.

ACEA ha creado una nueva clasificación, con nuevos test de motores más modernos y más acordes con los motores utilizados hoy en día en los vehículos europeos.

La primera clasificación ACEA fue adoptada en el año 96, teniendo estos niveles la siguiente nomenclatura: -Ax-96 (para motores gasolina) -Bx-96 (para motores Diesel ligeros) -Ex -96 (para motores Diesel pesados)

En el año 1998 y en 2002 estos niveles ACEA han sufrido diversas modificaciones, siendo ahora más severos, creándose algunos niveles nuevos, así como otros que han quedado como estaban.

Por tanto, para los motores de gasolina, la clasificación es:

Niveles ACEA para motores de gasolina:

En la actualidad y para disponer de una clasificación acorde al nivel de desarrollo y requerimientos de los motores europeos, ACEA ha desarrollado una nueva clasificación:

•***ACEA A-1:*** Nivel para motores de bajo consumo y economizador de combustible. Sin equivalente con la anterior clasificación.

•***ACEA A-2:*** Supera al G-4 anterior.

•***ACEA A-3:*** Supera al G-5 anterior y establece la máxima calidad de aceites convencionales.

•***ACEA A-4:*** Reservado para usar con los futuros motores de inyección directa de gasolina.

•***ACEA A-5:*** Nivel para motores de bajo consumo y economizador de combustible. Con la misma resistencia a la oxidación que A3.

Especificaciones Constructores (Vehículos Ligeros)

Dentro de las especificaciones de constructores las más destacables son:

VOLKSWAGEN:

Establece las siguientes normas:

502.00, 500.00, 501.01, 503.00, 503.0, 505.01, 506.00, 506.01.

MERCEDES BENZ:

Establece las siguientes normas:

M.B. 229.1, M.B. 229.3.

Existen otros fabricantes que establecen niveles de calidad, pero que no otorgan una especificación, sino una recomendación, como es el caso de:

- Porsche
- BMW
- Etc.

2.4.4 Aceites para Motores Diesel

Los aceites lubricantes para motores Diesel presentan una serie de peculiaridades frente a los de aplicación en motores de gasolina, derivadas de la naturaleza del combustible.

El Diesel presenta un cierto contenido en azufre, que puede llegar a generar ácido sulfúrico, que habrá que neutralizar. Además, la combustión del Diesel produce mayor cantidad de residuos carbonosos, que es preciso mantener en suspensión para evitar que se depositen en diferentes partes del motor.

La lubricación de motores de combustión interna requiere de los aceites un servicio en condiciones severas, tales como:

• Presiones y temperaturas elevadas

• Contacto con agentes contaminantes como agua, polvo oxígeno, etc.

Son tres las propiedades fundamentales de los aceites para motores, derivadas de estas condiciones de servicio:

• Viscosidad (comentado anteriormente)

• Estabilidad térmica y a la oxidación

• Protección del motor

• Protección Del Equipo

Ya hemos visto la gran importancia que tienen los aceites para motores Diesel para la protección del motor frente a los contaminantes externos e internos.

El origen de las partículas contaminantes es muy diverso: degradación térmica del aceite, subproductos de oxidación del mismo, partículas de combustión del combustible, polvo, partículas metálicas de desgaste, etc...

Estos contaminantes tienden a depositarse en diferentes zonas del motor creando depósitos como lacas y barnices, en zonas calientes, barros y lodos, en zonas frías, ó depósitos carbonosos en segmentos y cabeza de pistones.

Para combatir estos depósitos, se requieren una serie de aditivos que mantengan las partículas contaminantes en suspensión, evitando su aglomeración y posterior depósito en el motor. Estos aditivos son los detergentes y dispersantes.

2.4.4.1 Niveles de calidad

Niveles API para motores Diesel:

Para motores Diesel, las categorías API comienzan con la letra C y las categorías ACEA con la letra B para motores de automóviles y E para motores de vehículos comerciales (camiones, autobuses). Para vehículos Diesel el nivel máximo de calidad es, según API CJ-4 y, según ACEA E5 para vehículos comerciales y B5 para automóviles.

Los niveles CA y CB están obsoletos, y en el mercado existen los niveles CC, CD, CE, CF, CF-4.

•**API CC:** Aceites para motores ligeramente sobre alimentados, pero no apto para motores turboalimentados.

•**API CD:** Primer nivel exigible a los aceites para motores turboalimentados. Ofrecen por ello una alta estabilidad térmica.

•**API CE:** Aceites que superan ampliamente las exigencias del nivel CD.

•**API CF-4:** Diseñado para motores de baja emisión de partículas.

•**API CG-4:** Máximo nivel, implica un gran control sobre la formación de depósitos y carbonillas.

•**API CF:** Nivel orientado a vehículos de obras públicas, agricultura, off-road.

•**API CH-4:** Introducida en Diciembre de 1998. Para motores de 4 tiempos Diesel diseñados para cumplir exigentes normas sobre emisiones contaminantes. Para

motores que empleen gasoil con contenidos en azufre hasta un 0,5 %. Pueden usarse en lugar de API CG-4, CF-4, CE y anteriores.

•**API CI-4:** Se introdujeron en el año 2002. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape del año 2004 puestas en práctica en el 2002. Los aceites CI-4 están formulados para proteger la durabilidad del motor cuando se utiliza la recirculación de gases de escape (EGR) y están ideados para ser utilizados con combustibles diesel con un rango de contenido de azufre hasta 0.5% en peso. Pueden usarse en lugar de aceites CD, CE, CF-4, CG-4, y CH-4. Algunos aceites CI-4 también pueden calificar para la designación CI-4 PLUS

•**API CJ-4:** Se introdujeron en el año 2006. Están destinados a motores de alta velocidad, de cuatro tiempos diseñados para cumplir con las normas de emisión de gases de escape en autopista para el modelo del año 2007. Los aceites CJ-4 están compuestos para ser usados en todas las aplicaciones con combustibles diesel con rango de contenido de azufre hasta 500 ppm (0.05% en peso). Sin embargo, el uso de estos aceites con combustibles con un contenido de azufre mayor de 15 ppm (0.0015% en peso) puede repercutir en la durabilidad del sistema postratamiento de los gases de escape y/o en el intervalo de drenaje de aceite. Los aceites CJ-4 son eficaces en la protección de la durabilidad del sistema de control de emisiones cuando se emplean filtros de partículas y otros sistemas de postratamiento avanzados. La protección es óptima en el control del envenenamiento catalítico, bloqueo de filtros de partículas, desgaste del motor, formación de depósitos en pistones, estabilidad a baja y alta temperatura, propiedades en el manejo del hollín, espesamiento oxidativo, formación de espuma, y pérdida de viscosidad debido a corte. Los aceites API CJ-4 superan los criterios de desempeño de API CI-4 con CI-4 PLUS, CI-4, CH-4, CG-4 y CF-4 y pueden lubricar eficazmente motores que requieren esas Categorías de Servicio API. Al utilizar aceite CJ-4 con combustible que contenga más de 15 ppm de azufre, consulte al fabricante del motor para el intervalo de servicio.

Niveles ACEA para motores Diesel:

Como en los motores de gasolina, ACEA ha desarrollado una nueva doble clasificación:

DIESEL LIGERO: Para vehículos Diesel de pasajeros.

•***ACEA B-1:*** Nivel especial para motores de bajo consumo y economizador de combustible. Sin equivalente con la anterior clasificación.

•***ACEA B-2:*** Supera al PD-2 anterior.

•***ACEA B-3:*** Nivel de calidad que marca la máxima calidad.

•***ACEA B-4:*** Nivel específico para motores V.W Tdi ; no es superior al B-3.

•***ACEA B-5:*** Nivel economizador de combustible de máxima calidad.

***DIESEL PESADO*:**

•***ACEA E-1:*** Nivel básico para motores atmosféricos Diesel más anticuados. Equivalente al D-4.

•***ACEA E-2:*** Se amplia a motores con turbo y sin equivalente anterior.

•***ACEA E-3:*** Mayor calidad y superior al D-5.

•***ACEA E-4:*** Categoría (1998) para requerimientos en motores Euro 1, Euro 2 y Euro 3 para periodos de cambio de aceite muy prolongados. Nivel que marca la máxima calidad.

•***ACEA E-5*:** Nueva normativa que identificará los requerimientos de lubricación de motores Diesel pesados europeos y americanos, especialmente adaptados a las normas sobre emisiones EURO-3. El cumplimiento de esta norma significa ensayos de mayor severidad que la norma E3, pero no significa que sea un nivel superior al E4-98.

Aceites SHPD

SHPD (Super High Performance Diesel) no es una especificación en concreto, sino un concepto que se aplica a aquellos lubricantes desarrollados para mantener largos períodos de cambio.

Es el criterio del fabricante del motor, junto con las características adecuadas del aceite, lo que, tras las pruebas de laboratorio y de campo que el fabricante estima oportunas, lo que determina la duración del aceite, en función del servicio que realice el vehículo.

Las características que deben reunir estos productos son:

- Gran estabilidad térmica y a la oxidación.
- Viscosidad adecuada.
- Alto poder detergente.
- Alto poder dispersante.
- Propiedades antidesgaste potenciadas.

Especificaciones Constructores

MERCEDES BENZ

Mercedes Benz, en sus páginas 227 y 228 establece las distintas clasificaciones para los aceites motor Diesel.:

M.B. 227.0/227.1, M.B.228.0/228.1, M.B.228.2/228.3, M.B.228.5

MAN

MAN establece las normas: MAN 271, MAN M-3275, MAN M-3277

VOLVO

VOLVO ha creado sus propias especificaciones para sus motores, denominadas VDS (Volvo Drain Specifications).

VOLVO no recomienda los lubricantes que no cumplan la especificación VDS ó VDS

En estos casos, se tendrá en cuenta el nivel ACEA (CCMC) o API, para seleccionar el mejor lubricante. Además, podrá ser utilizado el lubricante, como máximo, 15.000 km. en todos los tipos de motores

Existen otro tipo de aprobaciones, basadas en los ensayos ACEA, como las de Renault RVI:

- Renault RVI E2
- Renault RVI E2-R
- Renault RVI E3
- Renault RVI E3-R.

2.4.5 Aceites para motores de dos tiempos

Para resolver la dificultad de no poder utilizar el cárter del motor como depósito de lubricante, y de no existir circuito de engrase propiamente dicho, en la lubricación de motores de dos tiempos se recurren a dos técnicas distintas:

- Lubricación por mezcla
- Lubricación por inyección

Lubricación Por Mezcla

En la lubricación por mezcla, el aceite se encuentra diluido con la gasolina en el mismo depósito de combustible según una proporción previamente fijada y supuestamente adecuada. La solubilidad del aceite en la gasolina a cualquier temperatura, es una propiedad de la máxima importancia.

Este tipo de lubricación es el más sencillo, el menos costoso, y el más extendido en los pequeños motores monocilíndricos refrigerados por aire que se emplean en herramientas forestales y de jardinera, cortacéspedes y motocicletas de pequeña cilindrada.

Entre sus inconvenientes más destacados resaltan la imposibilidad de regular la proporción de aceite según el esfuerzo del motor (lo que provoca más depósitos y más contaminación por sobrelubricación) y los problemas de solubilidad en frío

Lubricación Por Inyección

La lubricación por inyección consiste en inyectar el aceite, que se encuentra en un depósito propio e independiente, en algún punto concreto del motor. Dependiendo del punto de inyección podemos distinguir dos variedades de lubricación; la inyección del aceite en la vía de admisión y la inyección del aceite directamente en los componentes mecánicos del motor.

Las tres fases que existen en la lubricación de los motores de dos tiempos son:

- Mezcla aceite-gasolina: esta etapa es exclusiva de la técnica de lubricación por mezcla.
- Paso de la mezcla aceite-aire-gasolina al cárter. Esta etapa no ocurre en el sistema de inyección a las partes del motor.
- Transferencia de la mezcla a la cámara de combustión y posterior combustión de la misma.

Esta tercera fase es común a todas las técnicas de lubricación.

Propiedades De Los Lubricantes 2t

Las propiedades fundamentales de los lubricantes empleados en motores de dos tiempos, y que vamos a estudiar a continuación, derivan directamente de los requisitos que imponen las tres fases de la lubricación descritas con anterioridad.

Estos requisitos son:

- Solubilidad en la gasolina

- Arrastre por la gasolina
- Mínima formación de depósitos
- Lubricación efectiva de todos los componentes del motor

Otro factor importante que no debemos olvidar es que siempre se trata de una lubricación por aceite perdido, sin recirculación. El aceite, por tanto, permanece un espacio de tiempo muy pequeño en el motor. Volveremos sobre este comentario al tratar la aditivación de los aceites.

Los requisitos de lubricación antes enumerados son satisfechos por lubricantes que reúnen óptimamente las siguientes propiedades:

- Viscosidad
- Volatilidad
- Detergencia-Dispersancia
- Antiherrumbre
- Solubilidad en la gasolina

Las dos primeras propiedades son aportadas por el aceite base empleado, mientras que las tres últimas son aportadas por los aditivos que se añadan.

CLASIFICACIONES DE LOS ACEITES DOS TIEMPOS GASOLINA:

CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DOS TIEMPOS GASOLINA		
NIVEL	**APLICACIÓN**	**CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL MOTOR**
TA	Ciclomotores Pequeños generadores Motores pequeños refrigerados por aire	Motores propensos al autoencendido por depósitos, así como al atascado de los conductos de escape.
TB	Scooters Motocicletas que operen con altas cargas Maquinaria de jardinería Motosierras (3% mínimo)	Propensión al desgaste por rozamiento, perlado y a la pérdida de potencia por formación y acumulación de depósitos en los pistones y salidas de escape (transfers y colector) Tendencia moderada al pegado de segmentos a alta temperatura
TC	Motosierras 3% máximo) Motocicletas Motonieves Motosierras Motores refrigerados por agua que	Alta tendencia a la formación de depósitos induciendo a la preignición ó perlado. Alta tendencia al pegado de segmentos a alta temperatura. Utilización muy severa.

CLASIFICACIÓN API PARA ACEITES DOS TIEMPOS GASOLINA		
NIVEL	**APLICACIÓN**	**CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL MOTOR**
	no exijan ISO TCW	Competición.
TD	Motores fueraborda refrigerados por agua	Alta tendencia a la formación de depósitos y a la preignición. Propensión al pegado de segmentos.
CLASIFICACIÓN NMMA PARA ACEITES DOS TIEMPOS GASOLINA		
NIVEL	**APLICACIÓN**	**CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL MOTOR**
TC-W	Motores fueraborda refrigerados por agua	Alta tendencia a la formación de depósitos y a la preignición. Propensión al pegado de segmentos.
TC-W II	Motores fueraborda refrigerados por agua	Alta tendencia a la formación de depósitos y a la preignición. Propensión al pegado de segmentos. Funcionamiento en ambientes muy oxidantes. Exigencia de biodegradabilidad. No aplicable en motores terrestres.
TC-W III	Motores fueraborda refrigerados por agua	Aplicable a motores fueraborda muy rápidos.

2.5 LUBRICANTES PARA TRANSMISIONES

La transmisión es el conjunto de órganos de los equipos que tienen la misión de transmitir la energía generada en el motor a las ruedas adaptándola a las condiciones de marcha que se deseen. Consta de:

- El embrague
- La caja de cambios (manual ó automática)
- El diferencial

De estos órganos, nos centraremos en las cajas de cambios y diferenciales por ser los que nos interesarán de cara a la lubricación.

2.5.1 Cajas de cambios

La caja de cambios está constituida por una serie de engranajes que proporcionan distintas relaciones de transmisión de manera que transmitan más par a baja velocidad ó mayor velocidad pero con menor par. La selección de las diferentes velocidades se efectúa mediante unos desplazables que engranan el piñón deseado y por unos sincronizadores que adaptan las velocidades relativas de los engranajes. Pueden ser Manuales ó Automáticas

A. Cajas de Cambios Manuales

El engrane se realiza de forma manual a elección del conductor del vehículo.

Las condiciones de lubricación que se dan en la caja de cambio son de capa límite debido a la combinación de choque y deslizamiento unido a alta carga como características de funcionamiento de la caja.

El mecanismo de acción del lubricante se realiza mediante los aditivos extrema presión que atacan a la superficie metálica del engranaje a fin de preparar una superficie sobre la que agarrar fuertemente los radicales de las moléculas evitando los contactos metal con metal.

Los aceites para este tipo de transmisiones deben reunir las siguientes características:

- Viscosidad adecuada: por un lado elevada para hacer frente a las condiciones de lubricación en capa límite. Por otra parte deberá ser lo suficientemente fluido en frío para garantizar el desplazamiento de los mecanismos de engrane. Esta viscosidad se mide según la escala SAE de transmisiones.

- Propiedades Extrema presión (EP) elevadas a fin de evitar el contacto del metal con metal
- Propiedades anticorrosivas , antiherrumbre y antiespumantes
- Compatibilidad con juntas
- Aditivación EP adecuada según Norma API.

Norma API:

API GL1	• Sin aditivos EP • Servicio poco severo
API GL2	• Sin aditivos EP • Condiciones de servicio más severas.
API GL3	• Poca cantidad aditivo EP • Aplicable en engranajes cónicos
API GL4	• Media extrema presión. • Aplicable para engranajes hipoides
API MT-1	• Nuevo nivel de calidad para transmisiones • No es un nivel superior a API GL5 • Similar a API GL4 pero con mejor estabilidad térmica • Nivel de calidad para cajas de cambio manual, que trabajen en servicios muy severos.
API GL5	• Extrema presión. • Para las condiciones más severas

B. Cajas de cambio automáticas

La base de funcionamiento es la misma que en el caso de las cajas de cambio manuales pero con una selección de engrane realizada automáticamente en función de las resistencias exteriores, las revoluciones del motor El aceite además de actuar como aceite de engranajes, actúa como hidráulico en el convertidor, a modo de embrague.

Los aceites para transmisiones automáticas se denominan ATF (Automatic Transmission Fluid). Sus funciones principales son:

- Lubricar la caja de cambios

- Transmitir energía en el convertidor de par
- Facilitar el cambio de marchas automático
- Eliminar calor

Las características que deben reunir los fluidos para cumplir estas misiones son:

- Índice de viscosidad elevado y estable
- Propiedades anti-espuma
- Propiedades de fricción
- Compatibilidad con juntas y elastómeros
- Resistencia a la oxidación
- Estabilidad térmica, propiedades anti-desgaste y anticorrosivas.

C. Especificaciones

No existen para estos lubricantes normas API, ni militares, únicamente hay normas de constructores (General Motors, Ford). Las principales normas son:

General Motors:

Tipo A Sufijo A	1949
Dexron B (Dexron y Dexron Y)	
Dexron II	
Dexron C	
Dexron II-D	1973
Dexron II-E	
Dexron III	1993
Dexron III-G	2003
Dexron III-H	2004
Dexron VI	2006

Ford:

M2C-33-A/B/C/D

M2C-33-F/G

M2C-138-A

M2C-138-CJ

M2C-166-H

M2C-186-A

MERCON

2.5.2 Diferenciales

El diferencial es un mecanismo que recibe el movimiento de la caja de cambios por el árbol de la transmisión, y que lo reparte a las dos ruedas del eje según las necesidades de cada una de ellas. Presentan el inconveniente de que cuando una de las ruedas pierde motricidad, esta recibe todo el movimiento del diferencial, por lo que el vehículo queda atascado. Es por esto que se ha desarrollado el diferencial autoblocante, el cual mediante unos satélites bloquea el efecto del diferencial cuando no de los ejes gira a un % de vueltas determinado mayor que el otro eje.

Es el órgano más solicitado en lo que respecta a severidad del trabajo para los engranajes debido a que en ellos se realiza la conversión del par mediante engranajes del tipo hipoide. Requieren viscosidad adecuada y aditivación EP de grado GL-5.

Los diferenciales autoblocantes reciben el mismo tipo de lubricación, pero además requieren de aditivos limitadores del deslizamiento (LS = Limited Slip).

2.6 GRASAS

2.6.1 Definición y composición

Son productos de consistencia semisólida que se obtienen por dispersión de un agente espesante en un líquido lubricante. Pueden incluir aditivos.

Las grasas se usan como lubricantes, bajo condiciones en las cuales no sería conveniente utilizar aceites, algunas de las cuales exponemos a continuación:

- Altas cargas de rodadura y choque.
- Bajas velocidades de rotación
- Temperaturas extremas.
- Limpieza de uso ó supresión de salpicaduras.

- Mínima atención.
- Sellado a contaminantes externos.
- Grandes holguras en rodamientos.

Los ácidos grasos que forman la mayoría de las grasas son polares, y producen una adherencia fuerte al metal, aún bajo altas cargas.

En algunos tipos de industrias (textiles, alimentarías...) es esencial que el lubricante no contamine los productos.

Otro tipo de aplicación es, por ejemplo, en lugares que requieren lubricación constante con mínima atención (rodamientos de ruedas de automóviles y camiones, etc.).

Se componen de un aceite mineral ó sintético, que es el agente lubricante, y un agente espesante de naturaleza orgánica, organometálica e inorgánica. Las partículas del espesante forman una red tridimensional adherente, lo que confiere estabilidad a las grasas, diferenciándolas de las pastas lubricantes a base de sólidos pulverulentos (como grafito ó bisulfuro de molibdeno).

2.6.2 Aceites base

El aceite base, que representa un 80% de media de la masa total de la grasa, confiere a ésta gran parte de sus propiedades.

Así, grandes viscosidades del aceite base reducen las pérdidas por evaporación y mejoran las propiedades de adhesión y anticorrosivas, supresión de ruidos y resistencia al agua. Ahora bien, viscosidades elevadas representas problemas de bombeabilidad (sistemas centralizados de engrase) y ofrecen un mal comportamiento a bajas temperaturas.

Asimismo, la estabilidad a la oxidación y la temperatura de descomposición del aceite base, limita la temperatura de servicio y la vida media de la grasa, en cuanto a su comportamiento antifricción en cojinetes.

También la naturaleza del aceite base influye en la separación de aceite en la grasa, su estabilidad estructural, el poder de espesamiento, etc.

Los aceites base pueden ser:

- Minerales
- Sintéticos

2.6.3 Aditivos

Se incluyen en la composición de las grasas con el objeto de mejorar sus propiedades, tales como la adherencia, resistencia a la oxidación y a la corrosión, resistencia a la formación de barros, mejora del índice de viscosidad, condiciones de extrema presión, propiedades antidesgaste, resistencia al agua, etc.

2.6.4 Agentes Espesantes

Son los encargados, entre otras funciones, de proporcionar el soporte para el aceite base en el seno de la grasa.

No confieren propiedades lubricantes, que son aportadas exclusivamente por el aceite base, aunque si intervienen en otras, tales como:

• Estabilidad mecánica

• Resistencia al agua

• Punto de goteo

• Penetración

• Consistencia

Se distinguen dos tipos generales de agentes espesantes, según su naturaleza química:

- Jabonosos: obtenidos mediante reacción química (los más habituales).

- No jabonosos: obtenidos por dispersión

Los agentes espesantes de naturaleza jabonosa se obtienen mediante la reacción química denominada saponificación, entre un ácido orgánico y un hidróxido metálico, que da lugar a una sal orgánica denominada jabón.

La naturaleza química del agente espesante define los distintos tipos de grasa.

2.6.5 Tipos de grasas según la naturaleza química del agente espesante

Se clasifican en 3 grandes grupos:

Grasas De Jabones Simples Y Mixtos

Dentro de éstas, están las grasas de jabones de calcio, litio, sodio, aluminio, bario y de jabones mixtos (obtenidas al saponificar un ácido graso simultáneamente con dos hidróxidos metálicos).

Grasas de jabones complejos

Obtenida por saponificación de dos ácidos grasos de diferente longitud ó peso molecular, con un sólo hidróxido metálico. Dentro de este grupo se sitúan las grasas complejas de calcio, aluminio, litio, sodio y bario.

Grasas de base no jabonosa

Se obtienen por dispersión de compuestos orgánicos ó inorgánicos, en el seno de un líquido lubricante. Utilizando lubricantes sintéticos, se consiguen grasas de aplicación a muy elevadas temperaturas.

2.6.6 Propiedades físico-químicas y ensayos.

Punto de goteo

Temperatura a la que la grasa pasa del estado semisólido a líquido, bajo ciertas condiciones, es decir, temperatura a la que la grasa suelta la primera gota de aceite.

Consistencia

Representa la dureza de la grasa. Así, una grasa con poca consistencia es blanda, mientras que una muy consistente es dura. Esta propiedad se mide con el ensayo de penetración.

Penetración

Se mide por la escala NLGI (National Lubricating Grease Institute), que va desde el 000 (muy blanda) al 6 (muy dura). Estos grados se definen por un margen de valores de penetración, medidos en las condiciones descritas por un ensayo ASTM. Lógicamente, a mayores valores de penetración, menor consistencia de la grasa.

Cuando se mide la penetración en una muestra de grasa a la que se ha sometido a cierto trabajo mecánico el valor obtenido se conoce como penetración trabajada (W). Normalmente, dicho trabajo consiste en 60 golpes en equipo normalizado (60W).

Otras propiedades de las grasas:

- Resistencia a la corrosión
- Estabilidad a la oxidación
- Estabilidad al almacenamiento
- Tendencia a pérdidas de aceite

- Resistencia al agua
- Estabilidad mecánica
- Resistencia a la carga y al desgaste
- Resistencia a pérdidas por evaporación
- Bombeabilidad
- Comportamiento a bajas temperaturas

2.7 MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

2.7.1 Definición

Un motor de combustión interna es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión, la parte principal de un motor.

El motor cíclico Otto, cuyo nombre proviene del técnico alemán que lo inventó, Nikolaus August Otto, es el motor convencional de gasolina que se emplea en automoción y aeronáutica.

El motor diésel, llamado así en honor del ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diesel, funciona con un principio diferente y suele consumir diesel. Se emplea en instalaciones generadoras de energía eléctrica, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y automóviles. Tanto los motores Otto como los diésel se fabrican en modelos de dos y cuatro tiempos.

Los primeros motores de combustión interna no tenían compresión, sino funcionaron en la mezcla de aire y combustible aspirada o soplada adentro durante la primera parte del movimiento del producto. La distinción más significativa entre los motores de combustión interna modernos y los diseños antiguos es el uso de la compresión.

Cámara de combustión.

La cámara de combustión es un cilindro, por lo general fijo, cerrado en un extremo y dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al interior. La posición hacia dentro y hacia fuera del pistón modifica el volumen que existe entre la cara interior del pistón y las paredes de la cámara. La cara exterior del pistón está unida por un eje al cigüeñal, que convierte en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón.

En los motores de varios cilindros el cigüeñal tiene una posición de partida, llamada espiga de cigüeñal y conectada a cada eje, con lo que la energía producida por cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación. Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje. Un motor puede tener de 1 a 28 cilindros

Sistema de bombeo

El sistema de bombeo de combustible de un motor de combustión interna consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido. Se llama carburador al dispositivo utilizado con este fin en los motores Otto. En los motores de varios cilindros el combustible vaporizado se conduce a los cilindros a través de un tubo ramificado llamado colector de admisión. Muchos motores cuentan con un colector de escape o de expulsión, que transporta los gases producidos en la combustión.

Sistema de alimentación

Cada cilindro toma el combustible y expulsa los gases a través de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes. Un muelle mantiene cerradas las válvulas hasta que se abren en el momento adecuado, al actuar las levas de un árbol de levas rotatorio movido por el cigüeñal, estando el conjunto coordinado mediante la correa de distribución. En la década de 1980, este sistema de alimentación de una mezcla de aire y combustible se ha visto desplazado por otros sistemas más elaborados ya utilizados en los motores diésel. Estos sistemas, controlados por computadora, aumentan el ahorro de combustible y reducen la emisión de gases tóxicos.

Encendido

Todos los motores tienen que disponer de una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro. Por ejemplo, el sistema de ignición de los motores Otto, existe un componente llamado bobina de encendido, el cual es un auto-transformador de alto voltaje al cual se le conecta un conmutador que interrumpe la corriente del primario para que se induzca la chispa de alto voltaje en el secundario. Dichas chispas están sincronizadas con la etapa de compresión de cada uno de los cilindros; la chispa es dirigida al cilindro específico de la secuencia utilizando un distribuidor rotativo y unos cables de grafito que dirigen la descarga de alto voltaje a la bujía. El dispositivo que produce la ignición es la bujía, un conductor fijado a la pared superior de cada cilindro.

Si la bobina está en mal estado se sobrecalienta; esto produce pérdida de energía, aminora la chispa de las bujías y causa fallos en el sistema de encendido del automóvil.

La bujía contiene en uno de sus extremos dos electrodos separados entre los que la corriente de alto voltaje produce un arco eléctrico que enciende el combustible dentro del cilindro.

Refrigeración.-

Dado que la combustión produce calor, todos los motores deben disponer de algún tipo de sistema de refrigeración. Algunos motores estacionarios de automóviles y de aviones y los motores fueraborda se refrigeran con aire. Los cilindros de los motores que utilizan este sistema cuentan en el exterior con un conjunto de láminas de metal que emiten el calor producido dentro del cilindro. En otros motores se utiliza refrigeración por agua, lo que implica que los cilindros se encuentran dentro de una carcasa llena de agua que en los automóviles se hace circular mediante una bomba. El agua se refrigera al pasar por las láminas de un radiador. Es importante que el líquido que se usa para enfriar el motor no sea agua común y corriente porque los motores de combustión trabajan regularmente a temperaturas más altas que la temperatura de ebullición del agua, esto provoca una alta presión en el sistema de enfriamiento dando lugar a fallas en los empaques y sellos de agua así como en el radiador; se usa un anticongelante pues no hierve a la misma temperatura que el agua, si no a mucho más alta temperatura, tampoco se congelará a temperaturas muy bajas.

Otra razón por la cual se debe de usar un anticongelante es que este no produce sarro ni sedimentos que se adhieren en las paredes del motor y del radiador formando una capa aislante que disminuirá la capacidad de enfriamiento del sistema. En los motores navales se utiliza agua del mar para la refrigeración.

Sistema de arranque

Al contrario que los motores y las turbinas de vapor, los motores de combustión interna no producen un par de fuerzas cuando arrancan (véase Momento de fuerza), lo que implica que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo. Los motores de automoción utilizan un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Por otro lado, algunos motores pequeños se arrancan a mano girando el cigüeñal con una cadena o tirando de una cuerda que se enrolla alrededor del volante del cigüeñal. Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia, que aceleran el volante manualmente o con

un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente como para mover el cigüeñal; los iniciadores explosivos, que utilizan la explosión de un cartucho para mover una turbina acoplada al motor; oxígeno para alimentar las cámaras de combustión en los primeros movimientos (grandes motores). Los iniciadores de inercia y los explosivos se utilizan sobre todo para arrancar motores de aviones.

2.7.2 Tipos de Motores de CI

Motor convencional del tipo Otto

El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos. La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración.

En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.

Motores diesel

En teoría, el ciclo diesel difiere del ciclo Otto en que la combustión tiene lugar en este último a volumen constante en lugar de producirse a una presión constante. La mayoría de los motores diesel tienen también cuatro tiempos, si bien las fases son diferentes de las de los motores de gasolina.

En la primera fase se absorbe aire hacia la cámara de combustión. En la segunda fase, la fase de compresión, el aire se comprime a una fracción de su volumen original, lo cual hace que se caliente hasta unos 440 ºC. Al final de la fase de compresión se inyecta el combustible vaporizado dentro de la cámara de combustión, produciéndose el encendido a causa de la alta temperatura del aire. En la tercera fase, la fase de potencia, la combustión empuja el pistón hacia atrás, trasmitiendo la energía al cigüeñal. La cuarta fase es, al igual que en los motores Otto, la fase de expulsión.

Algunos motores diesel utilizan un sistema auxiliar de ignición para encender el combustible para arrancar el motor y mientras alcanza la temperatura adecuada.

La eficiencia de los motores diesel depende, en general, de los mismos factores que los motores Otto, y es mayor que en los motores de gasolina, llegando a superar el 40%. Este valor se logra con un grado de compresión de 14 a 1, siendo necesaria una mayor robustez, y los motores diesel son, por lo general, más pesados que los

motores Otto. Esta desventaja se compensa con una mayor eficiencia y el hecho de utilizar combustibles más baratos.

Los motores diesel suelen ser motores lentos con velocidades de cigüeñal de 100 a 750 revoluciones por minuto (rpm o r/min), mientras que los motores Otto trabajan de 2.500 a 5.000 rpm. No obstante, en la actualidad, algunos tipos de motores diesel trabajan a velocidades similares que los motores de gasolina, pero por lo general con mayores cilindradas debido al bajo rendimiento del diesel respecto a la gasolina.

El motor diesel es un motor térmico de combustión interna en el cual el encendido se logra por la temperatura elevada que produce la compresión del aire en el interior del cilindro. Fue inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1892, del cual deriva su nombre. Fue diseñado inicialmente y presentado en la feria internacional de 1900 en París como el primer motor para "biocombustible" como aceite puro de palma o de coco. Diesel también reivindicó en su patente el uso de polvo de carbón como combustible, aunque no se utiliza por lo abrasivo que es.

Principio de funcionamiento

Un motor diésel funciona mediante la ignición (quema) del combustible al ser inyectado en una cámara (o precámara, en el caso de inyección indirecta) de combustión que contiene aire a una temperatura superior a la temperatura de autocombustión, sin necesidad de chispa. La temperatura que inicia la combustión procede de la elevación de la presión que se produce en el segundo tiempo motor, la compresión. El combustible se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión. Como resultado, la mezcla se quema muy rápidamente. Esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda, impulsando el pistón hacia abajo. La biela transmite este movimiento al cigüeñal, al que hace girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación.

Para que se produzca la autoinflamación es necesario pre-calentar el aceite-combustible o emplear combustibles más pesados que los empleados en el motor de gasolina, empleándose la fracción de destilación del petróleo comprendida entre los 220 y 350°C, que recibe la denominación de gasóleo.

Ciclo del diesel

Desde un punto de vista mecánico, el ciclo del motor diesel de cuatro tiempos consta de las siguientes fases:

Admisión: con el pistón posicionado en el PMS (punto muerto superior) comienza la carrera descendente y al mismo tiempo se abre la válvula de admisión para llenar de aire limpio aspirado o forzado por un turbocompresor el cilindro, terminando

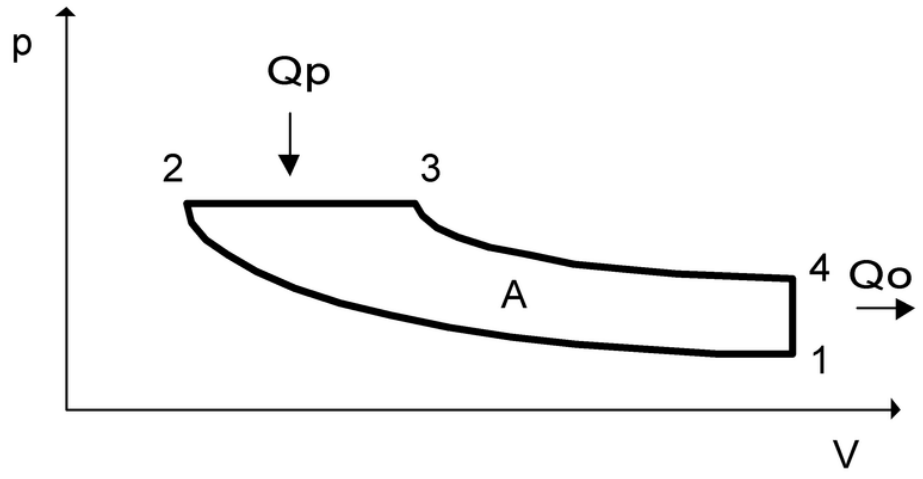
este ciclo cuando el pistón llega al (PMI) y la válvula de admisión se cierra nuevamente.

Compresión: el pistón está en el punto muerto inferior (PMI) y empieza su carrera de ascenso, comprimiendo el aire contenido en el cilindro y logrando de esa forma un núcleo de aire caliente en la cámara de combustión por el efecto adiabático.

Trabajo: cuando el pistón está a punto de llegar al punto muerto superior (PMS) se inicia la inyección de combustible a alta presión. En este momento se mezclan las partículas de gasóleo pulverizado con el núcleo de aire caliente y se produce el encendido y la consiguiente expansión de gases por la combustión del gasóleo, moviendo el pistón desde el PMS hacia el PMI y generando trabajo.

Escape: concluida la fase de trabajo y habiendo llegado el pistón al (PMI), se abre la válvula de escape al mismo tiempo que el pistón empieza su carrera hacia el PMS y elimina hacia el conducto de escape los gases producidos por la combustión en el cilindro.

De esta forma podemos ver que el ciclo diesel está conformado por cuatro tiempos, por lo que, cuando entra el combustible, este explota por la alta presión y se va quemando en el trayecto.



<u>Ventajas y desventajas</u>

La principal ventaja de los motores diesel comparados con los motores a gasolina estriba en su menor consumo de combustible. Debido a la constante ganancia de mercado de los motores diesel en turismos desde los años 1990 (en mucho países europeos ya supera la mitad), el precio del combustible tiende a acercarse a la gasolina debido al aumento de la demanda. Este hecho ha generado grandes problemas a los tradicionales consumidores de gasóleo como transportistas, agricultores o pescadores.

En automoción, las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor. No obstante, la adopción de la precámara para los motores de automoción, con la que se consiguen prestaciones semejantes a los motores de gasolina, presenta el inconveniente de incrementar el consumo, con lo que la principal ventaja de estos motores prácticamente desaparece.

Actualmente se está utilizando el sistema common-rail en los vehículos automotores pequeños. Este sistema brinda una gran ventaja, ya que se consigue un menor consumo de combustible, mejores prestaciones del motor, menor ruido (característico de los motores diésel) y una menor emisión de gases contaminantes.

Aplicaciones

- Maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras)
- Propulsión ferroviaria
- Propulsión marina
- Automóvil y camiones
- Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia)
- Propulsión aérea.
- Accionamiento industrial (bombas, compresores, etc., especialmente de
- emergencia)

2.8 LA SOBREALIMENTACIÓN DE MOTORES

La utilización de la sobrealimentación, se fundamenta en la mejora de la combustión del motor debido a un mayor llenado de aire en los cilindros, lo que provoca un aumento de potencia, un menor consumo específico y una menor contaminación.

La sobrealimentación en los motores no es una técnica muy reciente, ya que desde hace algunas décadas se comenzaron a "soplar", (como le llaman los americanos) los motores diesel a base de compresores volumétricos, accionados por medio de correas, cadenas, etc... Utilizando para mover estos compresores la polea del cigüeñal; posteriormente, aparecieron los turbocompresores (sistema de turbina a gas de descarga), que se utilizaban para máquinas de régimen constante y grandes potencias (barcos, locomotoras, compresores, motores para la industria etc.).

Estos turbo compresores eran de unas dimensiones tremendas, y muy elevado peso, giraban a un régimen muy lento, y tenían una altísima inercia. Obteniéndose su rendimiento en el régimen máximo del motor, en la era de los sesenta comienzan a emplearse en forma generalizada en los grandes motores de automoción dedicados al transporte, es el comienzo de la reducción del tamaño, pero aun son pesados y de alta inercia, con regímenes de giro entre 40.000 y 60.000 rpm. A partir de entonces comienza " la era de la sobrealimentación", en la que todos los fabricantes de motores en el mundo, se interesan por la aplicación de esta tecnología con el fin de tener mejores rendimientos de los actuales motores aspirados atmosféricamente.

La crisis energética y la necesidad imperiosa de evitar la contaminación de las ciudades, no hacen sino imponer como solución, la implantación del turbocompresor de forma generalizada y en forma casi imprescindible en los motores diesel. En un principio se usaron compresores, bien del tipo volumétrico, es decir que se envía constantemente hacia el motor una cantidad de aire siempre igual a su cilindrada útil, o dinámico, cuya energía de bombeo la obtiene del cigüeñal del motor, a través de una transmisión mecánica adecuada. La distribución de energía absorbida por un motor térmico con compresor es aproximadamente: un tercio en calor no aprovechable, otro tercio es utilizable como energía mecánica, y otro tercio en rozamientos, por lo tanto los gases de escape se descargan muy parcialmente, expansionados, con muy alta temperatura y con gran gradiente de presión lo cual supone:

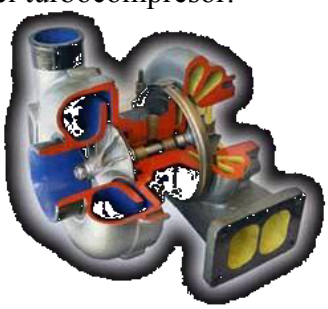
- Que el sistema de escape trabaje muy caliente y con necesidad de amortiguar mucho ruido, resultando costosos, pesados y de corta duración.

- Se pierde gran cantidad de energía por el escape y por consiguiente, los consumos aumentan.

- Sobrepresión en la admisión muy limitada en la práctica, la energía necesaria para mover el compresor absorbe una parte del incremento de potencia adquirida

- El sistema de transmisión mecánica para mover el compresor resulta costoso de diseño, fabricación y poco fiable.

Por estas razones se buscó aprovechar la energía desperdiciada por el escape. La solución fue instalar una turbina en el escape que fuese accionada por los propios gases de escape, y esta turbina mediante un eje solidario movía una bomba o compresor. Había nacido el turbocompresor.



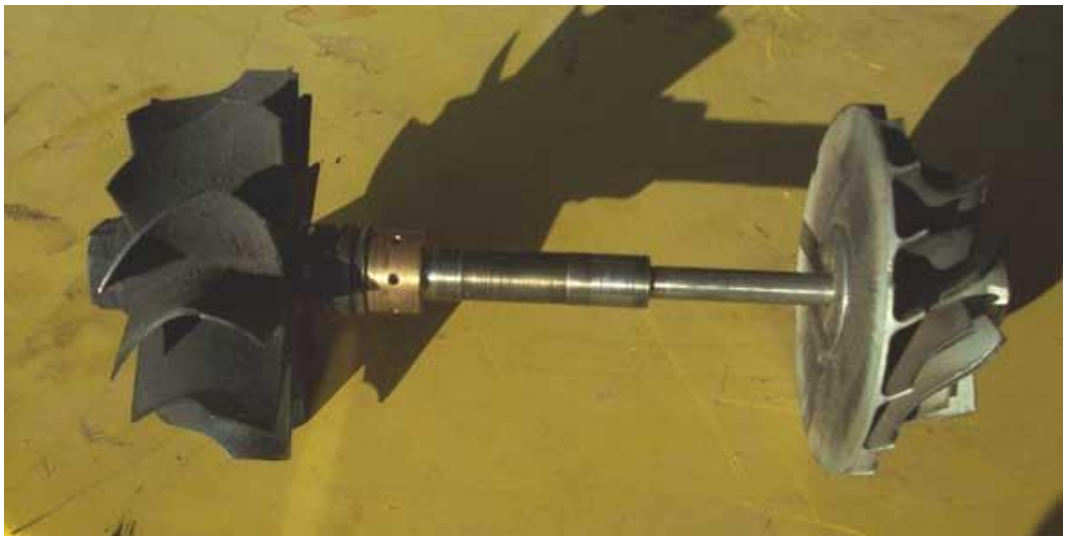
2.8.1 El turbocompresor y su mantenimiento

Ante la necesidad de mantener y mejorar la eficiencia del motor (potencia) en lugares predominantemente altos donde en nivel de oxigeno y la presión son bajos surge la necesidad de compensar estas dos variables externas para el motor.

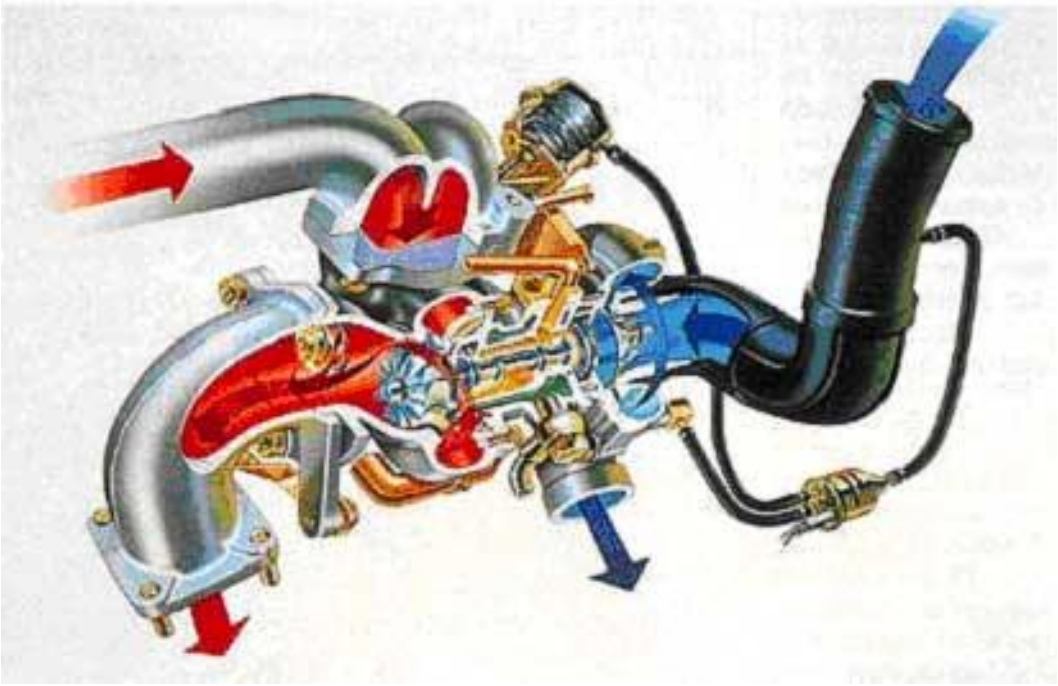
El turbocompresor podría definirse como un "aparato soplador" o compresor de aire movido por una turbina. Se puede considerar que está formado por tres cuerpos: el de la turbina, el de los cojinetes o central y el del compresor, van acoplados a ambos lados de los cojinetes.

Así, en uno de los lados del eje central del turbo van acoplados los álabes de la turbina, y en el otro extremo los álabes del compresor. Los gases de escape, al salir con velocidad hacen que giren los álabes de la turbina a elevadas velocidades, y ésta, a través del eje central, hace girar el compresor que, a su vez, impulsa el aire a presión hacia las cámaras de combustión.

Tanto los álabes de la turbina como los del compresor giran dentro de unas carcasas que en su interior tienen unos conductos de formas especiales para mejorar la circulación de los gases. El eje común central gira apoyado sobre cojinetes situados entre compresor y turbina, y también está recubierto por una carcasa. El eje y los cojinetes reciben del propio motor lubricación forzada de aceite, que llega a la parte superior del cuerpo de cojinetes, se distribuye a través de conductos en el interior y desciende a la parte inferior. En otras palabras el turbo utiliza el lubricante del mismo cárter del motor.



En el cuerpo del compresor, el aire entra por el centro de la carcasa dirigido directamente al rodete de álabes, que le dan un giro de 90° y lo impulsan hacia el difusor a través de un paso estrecho que queda entre la tapa, el cuerpo central y la pared interna del difusor. Este es un pasaje circular formado en la carcasa, que hace dar una vuelta completa al aire comprimido para que salga tangencialmente hacia el colector de admisión.



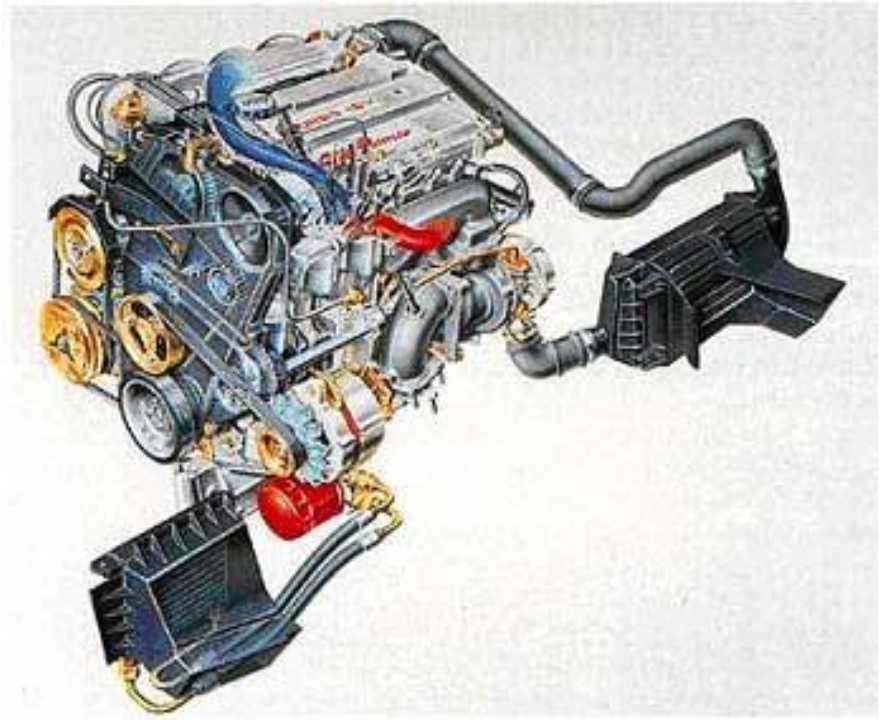
El sistema de alimentación por medio de turbocompresor, es una tecnología que alcanzó su validez hace muchos años. La disipación térmica, la lubricación adecuada de los componentes móviles y la dosificación de la presión, forman la clave de su buen funcionamiento.

En el cuerpo de la turbina, los gases de escape entran tangencialmente y circulan por un pasaje de sección circular que se va estrechando progresivamente y los dirige hacia el centro, donde está situado el rodete de álabes de la turbina. Al chocar contra los álabes, los gases hacen girar la turbina, cambian de dirección 90° y salen perpendicularmente por el centro hacia el tubo de escape. El cuerpo de la turbina es de fundición, o de fundición con aleación de níquel, y el rodete se suele fabricar en aleaciones de níquel, de alta resistencia al calor.

La utilización del turbo no sería posible en un motor si no se pudiera regular la sobrepresión que en mayor o menor grado aporta, de acuerdo con su mayor o menor velocidad de giro. Es evidente que a pocas revoluciones del motor, la salida de gases es de poca consideración y la velocidad de giro de la turbina resulta muy moderada. Pero cuando el motor aumenta su régimen de giro, la turbina recibe una mayor densidad y velocidad de los gases de escape, de modo que aumenta también su giro y con ella lo hace el compresor, que adquiere de ese modo elevados valores de sobrepresión.

Para que el conjunto funcione correctamente el turbo no ha de sobrepasar ciertos valores de sobrepresión, que oscilan generalmente entre los 0,4 y 0,7 bares, según el diseño, de modo que se hace necesaria una válvula de seguridad que controle la presión máxima para la que el motor ha sido diseñado. Esto se consigue por medio de la válvula de descarga, también conocida como “waste gate” (puerta de desecho), que desvía las presiones de los conductos cuando alcanzan valores

superiores a los establecidos. Esta válvula está gobernada automáticamente por una cápsula manométrica que actúa en función de la presión de admisión.



Por medio del turbocompresor, se llegó a obtener una potencia considerable de un simple motor de dos mil centímetros cúbicos de cilindrada con cuatro cilindros en línea. Un intercambiador de calor junto a otro radiador del lubricante, han hecho posible el control de la temperatura.

Como se dijo al principio, la utilización del turbo suponía muchas ventajas pero al mismo tiempo aportaba algunos inconvenientes; lo que no quiere decir que muchos de ellos no estén solucionados satisfactoriamente o que supongan un peligro real para la vida útil del motor. La enumeración de estos problemas simplemente quiere reflejar que un motor turboalimentado, aunque fiable, resulta más delicado que un atmosférico; es la contrapartida a las altas cotas de rendimiento y potencia que proporciona la sobrealimentación con un turbo.

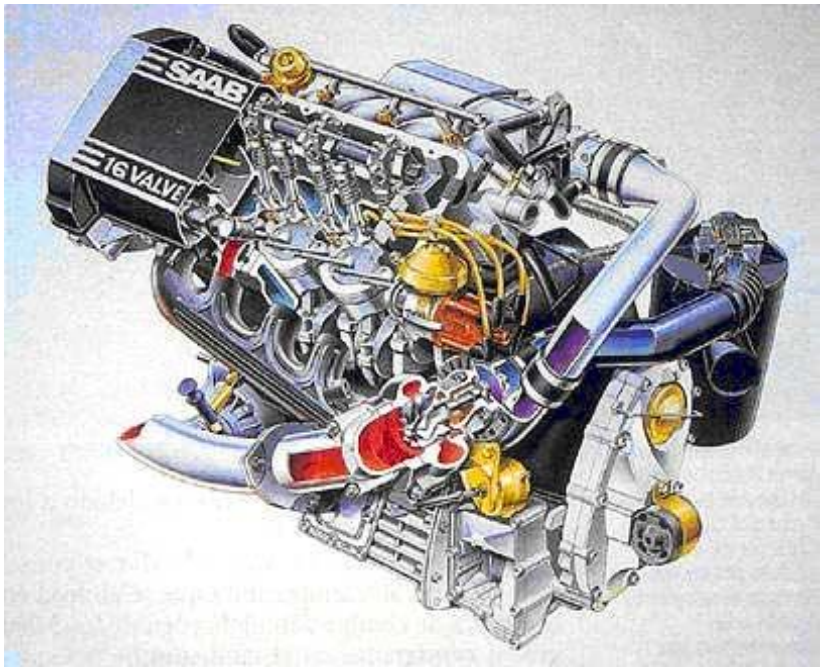
A la vista de que la mezcla combustible/aire es altamente explosiva cuando ya ha sido preparada, y es muy sensible a las altas temperaturas y las altas presiones, la aplicación del turbo a un motor de chispa plantea problemas, precisamente porque aumenta las temperaturas y presiones. Este aumento de valores no sólo afecta a la mezcla sino también a las partes móviles del motor, por lo que debe ser preparado convenientemente en sus partes vitales. De ahí una de las razones del encarecimiento de los motores turboalimentados respecto a los atmosféricos.

Además del coste elevado de producción, hay una serie de cuestiones fundamentales a tener en cuenta a la hora de hacer una somera descripción de las desventajas del turbo, el aumento de temperatura y los problemas de lubricación.

En cuanto a la detonación (explosión de la mezcla en la cámara de combustión sin que haya chispa), cuando un motor se somete a la sobrealimentación se produce un aumento de volumen en la entrada de la mezcla cada vez que se abre la válvula de admisión debido a que existe una mayor presión en el colector. El aire entra a mayor velocidad en el cilindro y cuando se cierra la válvula ha entrado una mayor cantidad de mezcla. La importancia de este aumento se manifiesta en una considerable subida de los valores de temperatura y compresión, que producirá inevitablemente la detonación. Por lo tanto, un motor sobrealimentado ha de tener una relación de compresión inferior a la de un motor atmosférico, lo que se traduce en un rendimiento pobre del motor cuando el régimen de giro es bajo.

Respecto a la lentitud de respuesta del turbo, hay que tener en cuenta que la presión de sobrealimentación alcanzada por un turbo resulta prácticamente proporcional a su régimen de giro, es decir, a más velocidad de giro, mayor caudal y también mayor valor de sobrepresión.

Como el régimen de giro del turbo depende de los gases de escape, y éstos a su vez, del volumen de gas quemado, el turbo aumenta su presión de admisión sólo cuando los gases quemados son abundantes, y son abundantes sólo cuando son recibidos en las cámaras de combustión en suficiente cantidad. Es un problema de acoplamiento que se produce a bajas vueltas del motor y que determina una lentitud de respuesta del turbo, problema que se agrava además ante la necesidad de una baja relación de compresión por las causas antes explicadas.



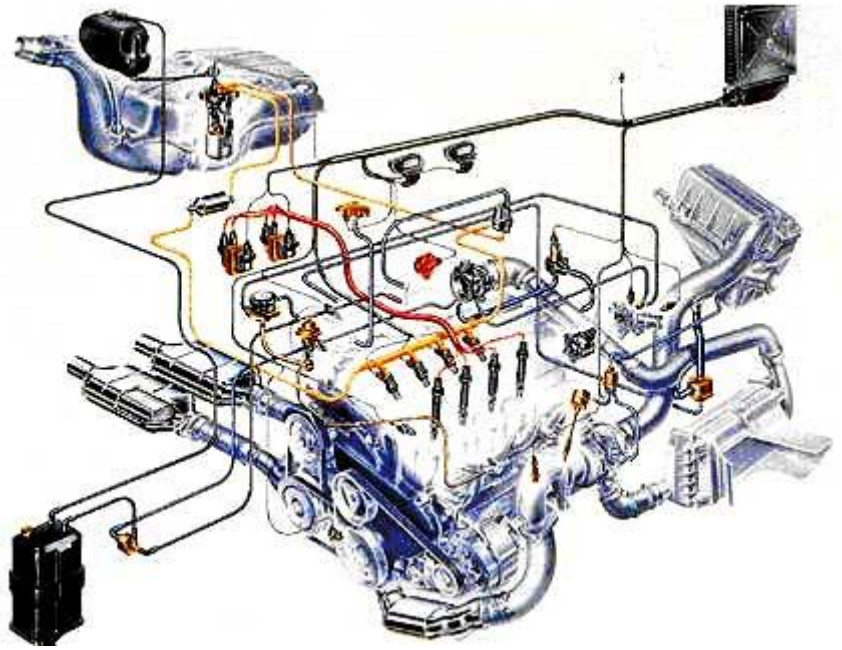
El constructor sueco Saab, ha logrado motores turboalimentados de elevada fiabilidad mecánica y buenas prestaciones. El propulsor que aparece en la fotografía es un claro ejemplo de avanzada tecnología, en el que el turbocompresor ha jugado un papel determinante.

Este es un fenómeno que se está investigando y cuya solución pasa por un turbo que se mueva al compás del régimen de giro del motor, que tenga muy poca inercia y sea de tamaño reducido; además de ser muy sensible al paso de los gases, acelerando y desacelerando con gran rapidez. Otra solución, que ya comienza a desarrollarse, es la creación de turbinas con álabes de inclinación variable, pero al fin y al cabo son soluciones que aún no se han implantado en serie debido a los altos costos de producción.

El problema del aumento del calor es consecuencia de la alta temperatura que se alcanza en la cámara de combustión, del orden de los 3.000ºC en el momento de la explosión. Los gases de escape salen por los colectores con temperaturas cercanas a los 1.000ºC. Estos gases, que son los que mueven la turbina, acaban calentando los de admisión, movidos por el compresor, muy por encima del valor de temperatura ambiente. Esto se traduce en una dilatación del aire y pérdida de oxígeno en una misma unidad de volumen, lo que hace que el excesivo calor de la mezcla en la cámara de combustión eleve la temperatura de funcionamiento del motor, por lo que la refrigeración tradicional del mismo resulta insuficiente.

La solución llega con la adopción de un sistema de refrigeración del aire de admisión, por medio de un radiador enfriador aire-aire, conocido también como "intercooler". Esta refrigeración del aire de admisión hace posible el uso continuado del turbo y dificulta enormemente la presencia de los efectos de detonación que se presentan con gran frecuencia con el aire caliente, en cuanto los valores de sobrepresión son importantes.

Sobre los problemas de lubricación en los motores turboalimentados, el aceite en los motores de gasolina ha de realizar una labor mucho más dura. Debido a las altas temperaturas que alcanza el turbo, el aceite ha de realizar una doble labor de lubricación y refrigeración, lo que significa que está sometido a condiciones mucho más duras y extremas de lo que podría considerarse habitual en otros motores.



En este esquema que pertenece al motor Alfa Romeo 2 litros turboalimentado, se puede comprobar en todos sus detalles la instalación de la inyección electrónica.

Por ello, los motores turboalimentados tienen el cárter de aceite sobredimensionado para tener una cantidad adicional para el uso de este mecanismo; suelen llevar un radiador de refrigeración para el aceite y se utilizan formulaciones distintas a las habituales en la composición de estos aceites. Es importante destacar aquí la calidad mínima del aceite que este motor requiere.

El uso de lubricantes de baja calidad, formulado con una base volátil (de pocos millones de años de antigüedad) puede ser la causa directa del agripamiento del turbo al no poder soportar los miles de grados de temperatura que alcanza. Los fabricantes recomiendan acortar los períodos de cambio del aceite cuando éste tenga una clasificación antigua como un CF-4 o uno mucho más anterior. Un aceite formulado con una base antigua y además certificado con la última clasificación API como un CI-4 aseguraremos el máximo cuidado y protección al turbo. También es muy importante seguir las normas básicas para la puesta en marcha y apagado del motor.

Recomendaciones:

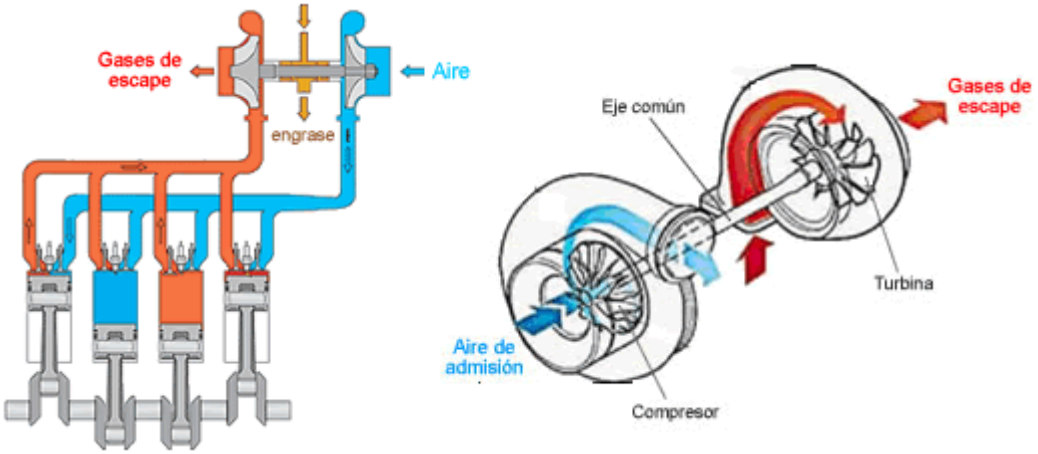
Mientras el turbocompresor ayuda al motor en la compensación de altura y aumento de fuerza y el intercooler aumenta más potencia todavía, ambos requieren mayores cuidados en su mantenimiento.

El único sistema de refrigeración del turbocompresor es el aceite que viene del cárter y alcanza los 280°C. Por lo que es necesario contar con un aceite que garantice su desempeño como los aceites API grupo II, sintetizados o sintéticos.

El motor turboalimentado, después de operar en carretera, siempre debería enfriarse entre 3 a 5 minutos antes de ser apagado. Cuando se apaga el motor con el cojinete caliente, se corta la circulación del aceite, cocinando el aceite en el cojinete. Si vuelve a encender el motor (con el aceite cocinado sobre el cojinete y el cojinete caliente) éste podrá agriparse.

El motor turboalimentado normalmente tiene un enfriador de aceite como parte del sistema de refrigeración del motor para reducir la temperatura del aceite antes de volver al cárter. Para aprovechar la máxima vida útil del turbocompresor, se requiere un refrigerante de máxima tecnología. Uno que tenga la máxima transferencia de calor y mayor inhibición de depósitos, que evite la cavitación y corrosión.

El motor turboalimentado requiere lubricación instantánea. Es por eso que la bomba de aceite en el cárter tiene dos salidas de aceite. Entonces la viscosidad del aceite es determinante. Si el aceite es muy viscoso, demora en alcanzar el turbocompresor, causando mayor desgaste. No se recomiendan aceites monogrados en motores equipados con turbocompresor.



2.8.2 Funcionamiento del turbocompresor

Este es relativamente sencillo: los gases de escape del motor, antes de salir a la atmosfera, son obligados a pasar por la garganta de la carcasa de la turbina donde son acelerados por la forma de esta y así aprovechar su energía para hacerla girar y una vez que han cedido su temperatura y presión, son expulsados al exterior a través del sistema de escape, la turbina va unida solidariamente por un eje al compresor, cuya finalidad consiste en tomar el aire de la atmósfera desde el filtro de aire y introducirlo a sobrepresión.

Por lo tanto se está introduciendo en los cilindros aire comprimido, consiguiendo con ello un llenado perfecto y una mayor masa de aire que permita una combustión más rica en aire y una mejor refrigeración del pistón, cilindro y cámara.

El engrase del sistema rotativo del turbocompresor se realiza a partir del propio sistema de lubricación del motor, los requerimientos son:

a. Que el aceite este limpio y filtrado

b. Que el abastecimiento demore lo menos posible después del encendido del motor

c. Y que sea continuo.

Esta sencilla forma de funcionamiento se logra gracias a la elevada tecnología y calidad del propio turbocompresor.

Para dar una ligera idea basta decir que el régimen de giro del conjunto rotativo turbina-compresor puede alcanzar hasta las 250.000 vueltas por minuto (rpm) y soportar temperaturas de más de 1000º centígrados, donde los niveles de precisión en el ajuste equilibrado, tolerancias, estanqueidad, etc. son de extremo rigor.

La forma de eliminar los humos, quemando la mayor parte de combustible posible, es alimentar con un gran exceso de aire, y con la mayor turbulencia posible. Esto es precisamente lo que permite el turbocompresor aún con mayor caudal de inyección obteniendo un incremento notable de potencia.

El turbocompresor, además reduce el consumo específico de combustible sin gran dificultad en los motores diesel.

Las razones de la reducción de consumo esta en el mejor rendimiento de combustión por mezcla más pobre y mayor turbulencia, y en el mejor rendimiento del ciclo, dando lugar a un escape, pasada la turbina, con bajo gradiente de presión y baja temperatura.

En competición con escape libre, se aprecia la baja sonoridad de los motores turboalimentados.

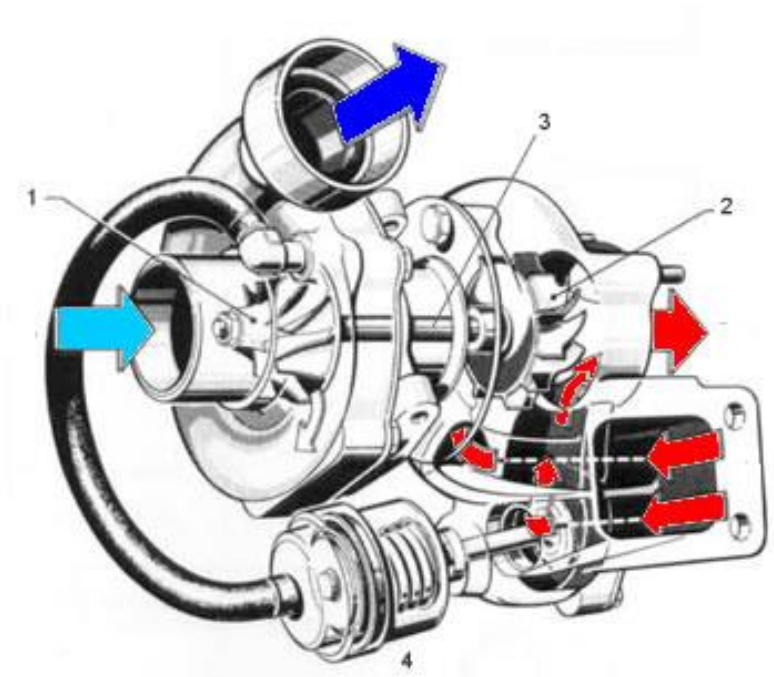
2.8.3 Ciclos de Funcionamiento del Turbo

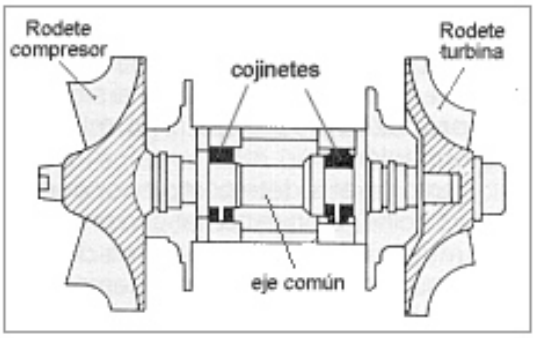
Funcionamiento a ralentí y carga parcial inferior: En estas condiciones el rodete de la turbina de los gases de escape es impulsada por medio de la baja energía de los gases de escape, y el aire fresco aspirado por los cilindros no será pre-comprimido por la turbina del compresor, simple aspiración del motor.

Funcionamiento a carga parcial media: Cuando la presión en el colector de aspiración (entre el turbo y los cilindros) se acerca la atmosférica, se impulsa la rueda de la turbina a un régimen de revoluciones mas elevado y el aire fresco aspirado por el rodete del compresor es pre-comprimido y conducido hacia los cilindros bajo presión atmosférica o ligeramente superior, actuando ya el turbo en su función de sobrealimentación del motor.

Funcionamiento a carga parcial superior y plena carga: En esta fase continua aumentando la energía de los gases de escape sobre la turbina del turbo y se alcanzara el valor máximo de presión en el colector de admisión que debe ser limitada por un sistema de control (válvula de descarga). En esta fase el aire fresco aspirado por el rodete del compresor es comprimido a la máxima presión.

CONSTITUCIÓN DE UN TURBOCOMPRESOR:





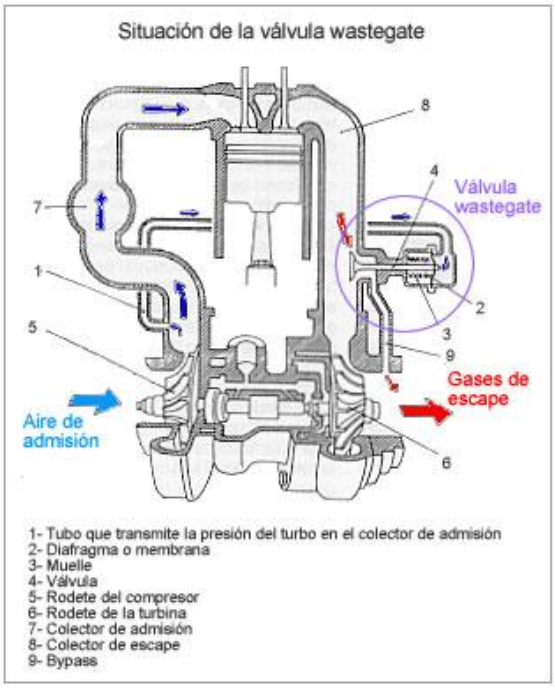
Los elementos principales que forman un turbo son el eje común (3) que tiene en sus extremos los rodetes de la turbina (2) y el compresor (1) este conjunto gira sobre los cojinetes de

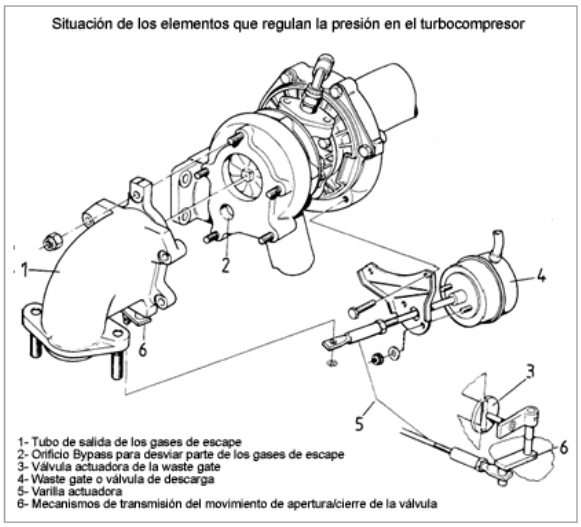
apoyo, los cuales han de trabajar en condiciones extremas y que dependen necesariamente de un circuito de engrase que los lubrica

Por otra parte el turbo sufre una constante aceleración a medida que el motor sube de revoluciones y como no hay limite alguno en el giro de la turbina empujada por los gases de escape, la presión que alcanza el aire en el colector de admisión sometido a la acción del compresor puede ser tal que sea mas un inconveniente que una ventaja a la hora de sobrealimentar el motor. Por lo tanto se hace necesario el uso de un elemento que nos limite la presión en el colector de admisión. Este elemento se llama válvula de descarga o válvula waste gate (4).

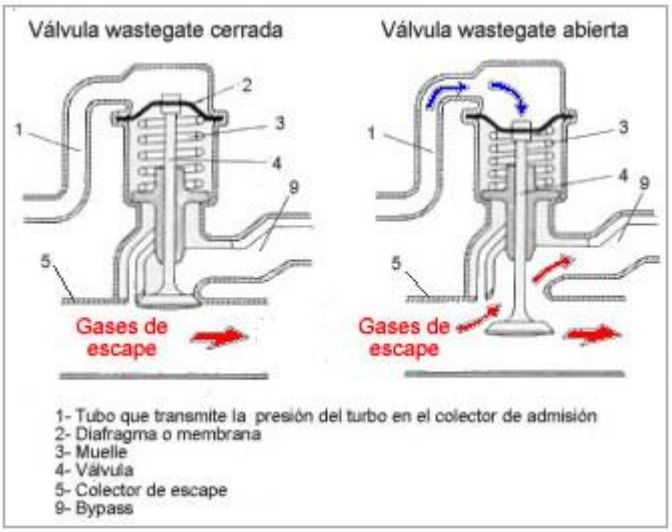
Regulación de la presión turbo:

Para evitar el aumento excesivo de vueltas de la turbina y compresor como consecuencia de una mayor presión de los gases a medida que se aumenten las revoluciones del motor, se hace necesaria una válvula de seguridad (también llamada: válvula de descarga o válvula waste gate). Esta válvula está situada en derivación, y manda parte de los gases de escape directamente a la salida del escape sin pasar por la turbina.





La válvula de descarga o wastegate esta formada por una cápsula sensible a la presión compuesta por un muelle (3), una cámara de presión y un diafragma o membrana (2). El lado opuesto del diafragma esta permanentemente condicionado por la presión del colector de admisión al estar conectado al mismo por un tubo (1). Cuando la presión del colector de admisión supera el valor máximo de seguridad, desvía la membrana y comprime el muelle de la válvula despegándola de su asiento. Los gases de escape dejan de pasar entonces por la turbina del sobre-alimentador (pasan por el bypass (9)) hasta que la presión de alimentación desciende y la válvula se cierra.



La presión máxima a la que puede trabajar el turbo la determina el fabricante y para ello ajusta el tarado del muelle de la válvula de descarga. Este tarado debe permanecer fijo a menos que se quiera intencionadamente manipular la presión de trabajo del turbo, como se ha hecho habitualmente. En el caso en que la válvula de descarga fallase, se origina un exceso de presión sobre la turbina que la hace coger cada vez mas revoluciones, lo que puede provocar que la lubricación sea insuficiente y se rompa la película de engrase entre el eje común y los cojinetes donde se apoya. Aumentando la temperatura de todo el conjunto y provocando que se fundan o gripen estos componentes.

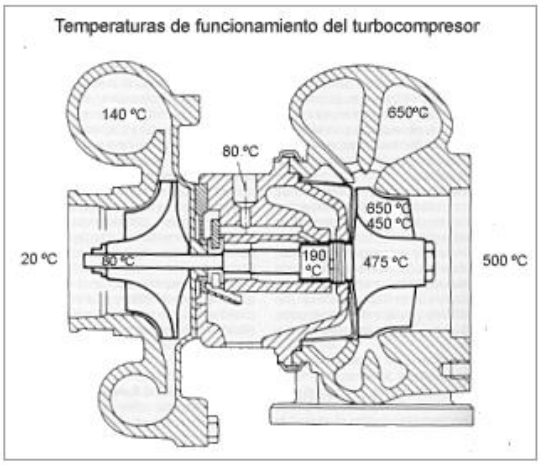
2.8.4 Temperaturas de Funcionamiento

Como se ve en la siguiente figura las temperaturas de funcionamiento en un turbo son muy diferentes, teniendo en cuenta que la parte de los componentes que están en contacto con los gases de escape pueden alcanzar temperaturas muy altas (650 ºC), mientras que los que esta en contacto con el aire de aspiración solo alcanzan 80 ºC.

Estas diferencias de temperatura concentrada en una misma pieza (eje común) determinan valores de dilatación diferentes, lo que comporta las dificultades a la hora del diseño de un turbo y la elección de los materiales que soporten estas condiciones de trabajo adversas.

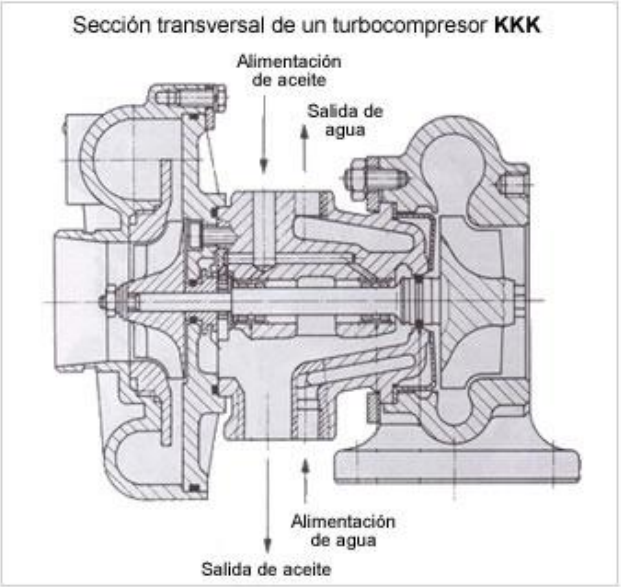
El turbo se refrigera en parte además de por el aceite de engrase, por el aire de aspiración cediendo una determinada parte de su calor al aire que fuerza a pasar por el rodete del compresor. Este calentamiento del aire no resulta nada favorable para el motor, ya que no solo dilata el aire de admisión de forma que le resta densidad y con ello riqueza en oxigeno, sino que, además, un aire demasiado caliente en el interior del cilindro dificulta la refrigeración de la cámara de

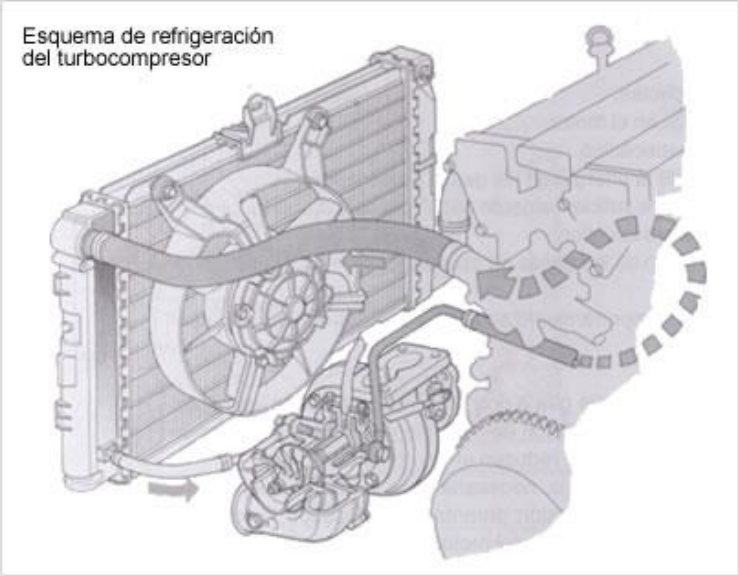
combustión durante el barrido al entrar el aire a una temperatura superior a la del propio refrigerante liquido.



Los motores de gasolina, en los cuales las temperaturas de los gases de escape son entre 200 y 300ºC más altas que en los motores diesel, suelen ir equipados con carcasas centrales refrigeradas por agua. Cuando el motor está en funcionamiento, la carcasa central se integra en el circuito de refrigeración del motor. Tras pararse el motor, el calor que queda se expulsa utilizando un pequeño circuito de refrigeración que funciona mediante una bomba eléctrica de agua controlada por un termostato. En un principio cuando se empezó la aplicación de los turbocompresores a los motores de gasolina, no se tuvo en cuenta la consecuencia de las altas temperaturas que se podían alcanzar en el colector de escape y por lo tanto en el turbo que esta pegado a el como bien se sabe. La consecuencia de esta imprevisión fue una cantidad considerable de turbos carbonizados, cojinetes defectuosos y pistones destruidos por culpa de la combustión detonante. Hoy en día los cárteres de los cojinetes de los turbocompresores utilizados para sobrealimentar motores Otto se refrigeran exclusivamente con agua y se han desarrollado y se aplican materiales más resistentes al calor. Los fondos de los pistones de los motores turbo casi siempre se refrigeran por medio de inyección de aceite. Con estas medidas se han solucionado la mayor parte de los problemas que tienen los motores de gasolina sobrealimentados por turbocompresor, eso si, siempre teniendo presente que si por algún motivo la temperatura de escape sobrepasa durante un tiempo prolongado el limite máximo de los 1000ºC el turbo podrá sufrir daños.

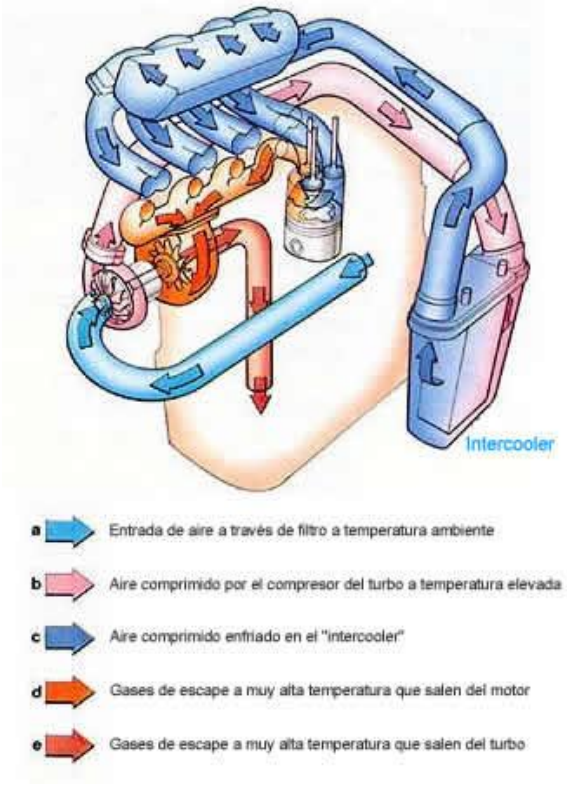

Turbocompresor refrigerado por agua

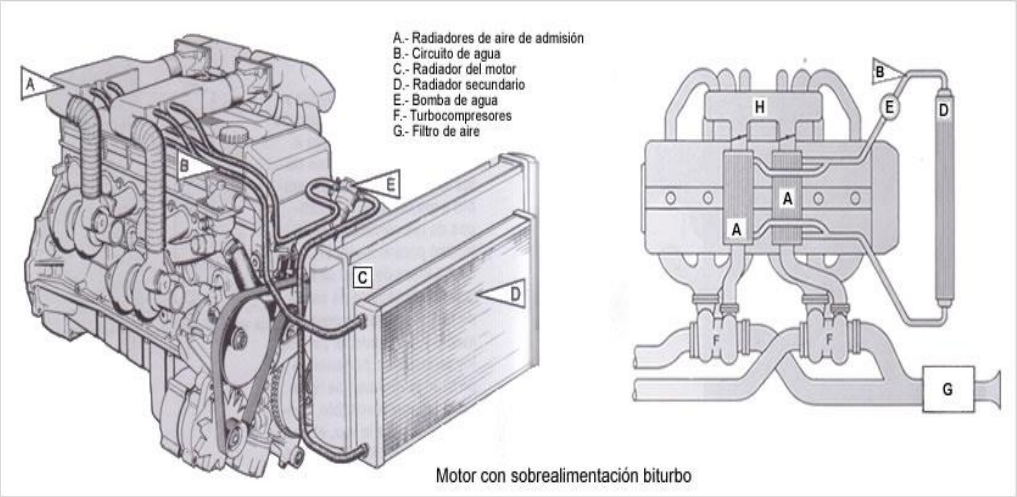




Intercooler:

Para evitar el problema del aire calentado al pasar por el rodete compresor del turbo, se han tenido que incorporar sistemas de enfriamiento del aire a partir de intercambiadores de calor (intercooler). El intercooler es un radiador que es enfriado por el aire que incide sobre el coche en su marcha normal. Por lo tanto se trata de un intercambiador de calor aire/aire a diferencia del sistema de refrigeración del motor que se trataría de un intercambiador agua/aire.
Con el intercooler (se consigue refrigerar el aire aproximadamente un 40% desde 100°-105° hasta 60°- 65°). El resultado es una notable mejora de la potencia y del par motor gracias al aumento de la masa de aire (aproximadamente del 25% al 30%). Además se reduce el consumo y la contaminación.





Motor con sobrealimentación biturbo

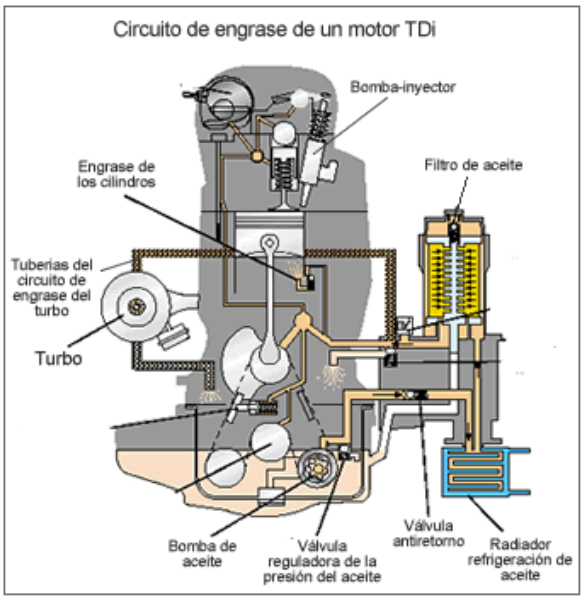
2.8.5 La lubricación del turbo

Como el turbo está sometido a altas temperaturas de funcionamiento, el engrase de los cojinetes deslizantes es muy comprometido, por someterse el aceite a altas temperaturas y desequilibrios dinámicos de los dos rodetes en caso de que se le peguen restos de aceites o carbonillas a las paletas curvas de los rodetes (alabes de los rodetes) que producirán vibraciones con distintas frecuencias que entrando en resonancia pueden romper la película de engrase lo que producirá microgripajes. Además el eje del turbo esta sometido en todo momento a altos contrastes de temperaturas en donde el calor del extremó caliente se transmite al lado mas frió lo que acentúa las exigencias de lubricación porque se puede carbonizar el aceite,

debiéndose utilizar aceites homologados por el API y la ACEA para cada país donde se utilice.

Se recomienda después de una utilización severa del motor con recorridos largos a altas velocidades, no parar inmediatamente el motor sino dejarlo arrancado al ralentí un mínimo de 30 seg. para garantizar una lubricación y refrigeración optima para cuando se vuelva arrancar de nuevo. El cojinete del lado de la turbina puede calentarse extremadamente si el motor se apaga inmediatamente después de un uso intensivo del motor. Teniendo en cuenta que el aceite del motor arde a 221 ºC puede carbonizarse el turbo.

El engrase en los turbos de geometría variable es mas comprometido aun, por que además de los rodamientos tiene que lubricar el conjunto de varillas y palancas que son movidas por el depresor neumático, al coger suciedades (barnices por deficiente calidad del aceite), hace que se agarroten las guías y compuertas y el turbo deja de trabajar correctamente, con perdida de potencia por parte del motor.



2.8.6 Mantenimiento y cuidado de los turbocompresores

El turbocompresor está diseñado para durar lo mismo que el motor. No precisa de mantenimiento especial; limitándose sus inspecciones a unas comprobaciones periódicas. Para garantizar que la vida útil del turbocompresor se corresponda con la del motor, deben cumplirse de forma estricta las siguientes instrucciones de mantenimiento del motor que proporciona el fabricante:

d. Intervalos de cambio de aceite

e. Mantenimiento del sistema de filtro de aceite

f. Control de la presión de aceite

g. Mantenimiento del sistema de filtro de aire

El 90% de todos los fallos que se producen en turbocompresores se debe a las siguientes causas:

h. Penetración de cuerpos extraños en la turbina o en el compresor

i. Suciedad en el aceite

j. Suministro de aceite poco adecuado (presión de aceite/sistema de filtro)

k. Altas temperaturas de gases de escape (deficiencias en el sistema de encendido/sistema de alimentación).

Estos fallos se pueden evitar con un mantenimiento frecuente. Cuando, por ejemplo, se efectúe el mantenimiento del sistema de filtro de aire se debe tener cuidado de que no se introduzcan fragmentos de material en el turbocompresor.

2.8.7 Enfriamiento de turbocompresor

El turbocompresor y el intercooler, que aumentan la potencia del motor, requieren de su atención:

l. El único sistema de refrigeración del turbocompresor es el aceite que viene del cárter y puede alcanzar los 280° C, razón por la cual es necesario contar con un aceite que garantice su desempeño, como los API grupo II, sintetizados o sintéticos (API CI-4).

m. El motor turboalimentado, después de operar en carretera, siempre debería enfriarse entre 3 a 5 minutos antes de ser apagado. Cuando se apaga el motor con el cojinete (apoyo) caliente se corta la circulación del aceite, carbonizándolo. Si vuelve a encender el motor con el aceite carbonizado sobre el cojinete caliente éste podría griparse.

n. El motor turboalimentado normalmente tiene un enfriador de aceite como parte del sistema de refrigeración del motor, para reducir la temperatura del mismo antes de volver al cárter. Para aprovechar la máxima vida útil del turbocompresor se requiere el uso de un refrigerante de máxima tecnología. Uno que tenga la máxima transferencia de calor y mayor inhibición de depósitos, que evite la cavitación y corrosión, como son los refrigerantes tipos dexcool.

o. El motor turboalimentado requiere lubricación instantánea. Es por eso que la bomba de aceite en el cárter tiene dos salidas de aceite. También la viscosidad del aceite es determinante. Si éste es muy viscoso demora en alcanzar el turbocompresor, causando mayor desgaste. Utilice siempre el aceite recomendado por el fabricante.

2.8.8 Ventajas de los turbocompresores

Las ventajas que obtenemos con un turbo son:

p. Aumento de potencia al poder introducir en la cámara de combustión más combustible que con un aumento de aire entre un 30% y un 40% nos permite tener una perfecta combustión sin necesidad de un aumento de la cilindrada

q. Aumento de la respuesta de aceleración del motor a régimen medio, ya que la curva del par motor se modifica, adelantándose consiguiendo una curva más plana y de mayor valor.

r. Mejora del consumo específico, o sea, que a una mayor potencia gastamos menos combustible en relación a la potencia entregada.

s. Eliminación de humos y emisiones contaminantes al realizar la combustión con una mayor aportación de oxígeno, esto además trae una importante reducción en los residuos que se alojan en la cabeza del pistón, alojamiento de los anillos, válvulas y otros que a través del cilindro llegan al cárter adulterando el aceite con los consiguientes efectos nocivos que presenta para la vida del motor.

t. Recuperación de potencia en altura, ya que el turbocompresor evita que el motor se "asfixie" por la disminución de la presión atmosférica, fenómeno este que se produce en las montañas y carreteras a grandes alturas.

u. Menor peso y cilindrada en relación a la potencia entregada.

Las desventajas del montaje de un turbocompresor que se pueden apreciar son escasas, como por ejemplo:

Menor duración del motor ya que lo fatigamos más.

En un diesel cuando el turbo actúa, en todo el ciclo hay más presión en la cabeza del cilindro que en el cárter. Entonces los gases tienden a expulsar el aceite hacia el cárter y lavar las camisas.

El hecho de que el ciclo sea más frio hace que el pistón tienda a dilatar menos, y a cerrar peor cuando el ajuste inicial no es bueno

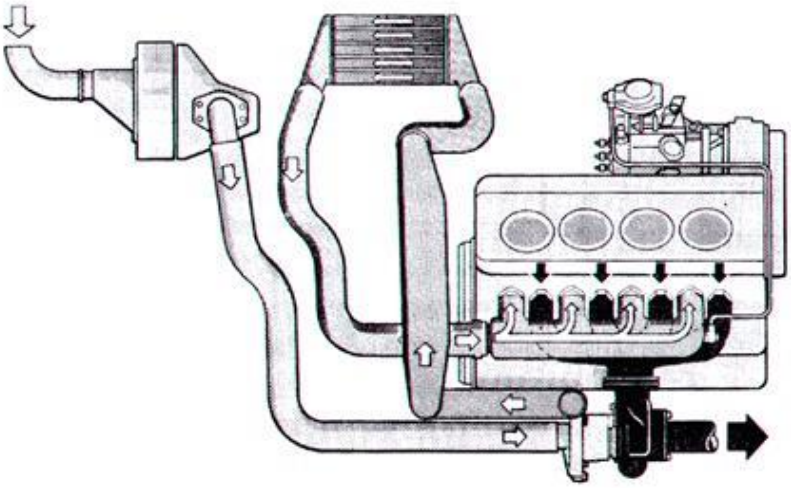
El turbocompresor necesita un determinado caudal de gases de escape para iniciar su funcionamiento que esta en función del tamaño de las turbinas, por lo tanto el turbo exhibe su mejor comportamiento cuando el motor supera las 2500-3000 rpm y en régimen normal es peor o igual al de un motor de alimentación convencional (atmosférico).

Pero basta con hundir el acelerador para que cuando traspase el umbral de la zona medio-baja del tacómetro, el turbo despierte y produzca un empuje extraordinario.

En la evolución de los sistemas sobrealimentados se han incluido en el circuito de admisión un intercambiador de calor también llamado intercooler.

El intercooler está compuesto por un intercambiador de calor, ya que, al ir el aire mas deprisa se produce un roce molecular entre las moléculas de aire, que aumenta la temperatura de este; con el intercooler logramos enfriar el aire de admisión de aproximadamente 150ºC A 40º-50º centígrados, lo que produce un aumento de la densidad del aire. (Aire mas frio=aire mas denso, aire mas caliente=aire menos denso), que mejora la combustión consiguiendo unas mayores prestaciones, frente al motor simplemente atmosférico.

Para controlar que la presión en el múltiple de admisión no sea excesiva se utiliza una válvula reguladora de presión del múltiple para producir una derivación de los gases de escape, es decir que no todos los gases de escape pasen por la turbina, artificio que se logra moviendo una mariposa o válvula a través de un vástago que es accionado por la misma presión que se genera en el sistema.



2.8.9 El futuro del turbocompresor

El turbocompresor todavía no ha llegado al final de su potencial de desarrollo, a continuación enumeramos la siguientes mejoras que están en fase de ensayo o ya se aplican y se fabrican en serie.

v. Fabricación del cárter (carcasa) de la turbina y del colector de escape de una sola pieza. Con ello se pueden ahorrar la brida, conjuntamente con el sellado, y los anclajes caros entre el cárter de la turbina y el colector de escape. Al mismo tiempo se reduce también el peso. Además, se mejora la respuesta del motor turbo, por que se requiere calentar menos material.

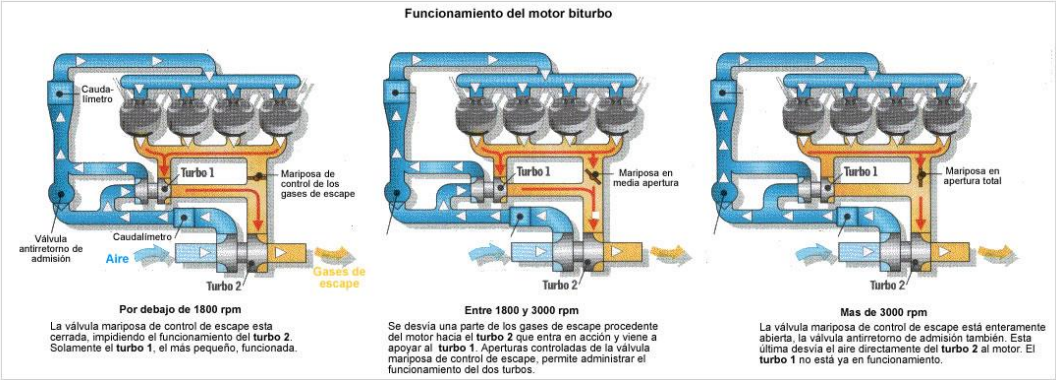
w. Reducción del grosor de las paredes del cárter de la turbina. La consecuencia es un peso menor y un mejor comportamiento en la respuesta.

x. Las turbinas de aleación de titanio y aluminio son más ligeras que las ruedas de acero de gran calidad. Esto también favorece el comportamiento de respuesta del motor, porque el turbocompresor acelera más rápidamente.

y. La geometría variable del cárter de la turbina mejora el rendimiento de un turbocompresor y, por tanto, del motor con respecto a todo el régimen de revoluciones. En el motor Diesel estos turbocompresores ya se utilizan con

buenos resultados, en motores de gasolina todavía no, hace falta todavía que se perfeccionen mejor las características térmicas de los materiales con los que están construidos.

z. La colocación de dos turbocompresores pequeños (en lugar de uno grande) sobre todo en motores en "V" o motores que tengan igual o mas de 6 cilindros. También la utilización de motores biturbo con turbos hermanados o escalonados que utilizan un turbo pequeño para cuando el motor funciona a bajas r.p.m. y un turbo mas grande cuando el motor funciona a altas r.p.m..



El sistema biturbo de turbos hermanados o escalonados fue desarrollado por los ingenieros resultantes del departamento deportivo de la marca de automóviles Opel OPC (Opel Performance Center). Basta con considerar las presiones efectivas alcanzadas para darse cuenta del enorme potencial del motor equipado con turbos hermanados o escalonados. Mientras que las versiones Diesel sobrealimentadas clásicas funcionan a presiones incluidas entre 1,7 y 1,9 bares, el motor de 1,9 l de turbos hermanados llega a presiones efectivas de 2,6 bares. Esta presión tiene una influencia directa sobre la potencia del motor: cuanto más alta es la cifra mayor es la potencia desarrollada por el motor. Para que se pueda utilizar la técnica de los turbos hermanados, es necesario que el bloque motor sea especialmente robusto y que pueda resistir presiones enormes, incluso después de un fuerte kilometraje.

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS DE MANTENIMIENTO PROACTIVO EN BASE AL ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE EN USO

3.1 MANTENIMIENTO PROACTIVO EN BASE AL ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE

En el presente trabajo de monografía se desarrollan dos ejemplos sobre la aplicación de técnicas de mantenimiento proactivo en base a análisis de aceite lubricante en dos motores diesel con turbo alimentación CUMMINS ISM 350V. Utilizando técnicas de análisis físico-químico, es posible detectar la aparición de problemas que evitan el desarrollo de fallas en los motores diesel. La detección a tiempo de problemas en las unidades además de evitar daños severos permite el replanteo del plan de mantenimiento preventivo de la flota. Esta metodología es aplicable a otros equipos lubricados ya sean estacionarios o móviles.

3.2 FACTORES QUE INCIDEN EN EL DESGASTE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

3.2.1 El Periodo de arranque en frío

Los estudios llevados a cabo han determinado que un motor durante el arranque en frío sufre los mayores desgastes que algunos llegan a determinar en más de un 80%, considerándose como el período más crítico hasta que el motor alcanza su temperatura de trabajo.

Cuando se produce el arranque en frío de un motor, la lubricación es bastante deficiente como para disminuir el coeficiente de fricción por interposición entre las superficies sometidas a contacto, consecuentemente, esta fricción produce desgaste y la severidad de éste depende de la naturaleza de las superficies, su estado de acabado y los efectos de carga.

El efecto nocivo de las partículas es tan importante que se ha llegado a determinar que partículas de un tamaño de 6 micras en el aceite llegan a incrementar el coeficiente de fricción (ó rozamiento) en 5 veces su valor normal.

Este efecto es más acusado donde las condiciones de lubricación son más severas, en los cojinetes de biela y cigüeñal.

3.2.2 Una lubricación deficiente

La función primordial de un lubricante es disminuir el coeficiente de fricción por interposición entre las superficies sometidas a contacto. Su ausencia o una

lubricación deficiente motivarán desgastes en todos aquellos puntos necesitados de la presencia del aceite lubricante para evitar el contacto metal con metal.

3.2.3 El exceso de temperatura

La excesiva temperatura afecta bastante en la lubricación, sobre todo cuando sobrepasa un valor que pueda provocar la perdida de las características del lubricante, disminuyendo su película, y llegando en algunos casos a su rotura, originando un incremento de la fricción y de superficie dañada.

Las excesivas temperaturas provocan la degradación térmica y pueden causar la polimerización del lubricante y de los aditivos ya que pueden ser inestables y transformarse en insolubles.

3.2.4 Los contaminantes internos y externos

En los aceites de motores de combustión interna están presentes contaminantes como agua y metales que actúan como catalizadores y aceleran la oxidación, dando lugar a ácidos, lodos, resinas, barnices y barros.

El carburante (gasolina o diesel) está presente en los aceites usados de motores. Cuando alcanza niveles elevados provocan una disminución de la viscosidad y calidad del aceite.

3.2.5 La terminación de las piezas

Aparentemente una superficie puede parecernos lisa, pero vistas al microscopio presentan una serie de rugosidades. Su estado de acabado dependerá del proceso de mecanización por el cual se haya realizado.

Los factores que condicionan la fricción son el estado de las superficies (capas superficiales y el acabado), contacto superficial (zonas de contacto real y área efectiva de contacto) y los efectos de carga (naturaleza del contacto e influencia de las asperezas).

3.3 DESGASTES METÁLICOS DE LO SMOTORES DE COMBUSTION INTERNA

Todos los análisis de aceite de motor usado reportarán elementos de materiales de desgaste. Lo importante es minimizar ese desgaste a través un programa de mantenimiento proactivo.

Para reducir el desgaste utilizando el análisis de aceite, tenemos que entender de qué partes del motor provienen esas partículas de desgaste. Existen muchos diseños de motores, utilizando variados materiales.

En general, los bujes y cojinetes de árbol de levas, martillo, pasadores y pistones son de bronce, mientras los cojinetes de bielas y bancada que reciben mayores fuerzas son de dos o tres metales. La última capa normalmente es de plomo para gastarse en el asentado del motor y dejar mejor circulación del aceite sin turbulencia.

3.3.1 Hierro

El primer elemento que miramos es el hierro. Normalmente el hierro viene de la fricción entre las paredes de los cilindros (sean camisas o el bloque mismo) y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadenilla, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas.

El hierro puede provenir del desgaste o herrumbre. Un motor que tiene aceite contaminado por tierra, falta de viscosidad, o alto hollín (entre otros) tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Si el aceite está con agua, todas las piezas de hierro son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre a controlarla.

Desgaste de anillos y cilindros: Cada hora que el motor está encendido, los pistones suben y bajan, raspando los anillos contra las paredes de los cilindros. En un viaje de 10 minutos en un auto normal, cada anillo de cada pistón viajó 6 kilómetros raspando las paredes. Si el aceite pierde su viscosidad, el desgaste es severo. Si el aceite está contaminado, los contaminantes rayan las paredes. Mucha de ésta lubricación es hidrodinámica, dependiendo de la viscosidad para evitar desgaste. Cuando falla la lubricación hidrodinámica los anillos dependen de los aditivos anti-desgaste que proveen lubricación límite. El trabajo del anillo superior es “barrer” el aceite al bajar en el cilindro, dejando las paredes secas para la combustión. Este anillo depende 100% de la lubricación límite.

Desgaste de la bomba de aceite: La bomba de aceite solamente puede gastarse si existe contaminación del aceite, nivel bajo de aceite (falta de lubricación), o nivel demasiado alto de aceite (causa espuma que se rompe en la bomba provocando cavitación y falta de lubricación).

Otras piezas: El desgaste del cigüeñal, árbol de levas, válvulas y otras piezas similares no depende tanto de la carga o las presiones, sino la lubricación

hidrodinámica y la contaminación. Alto contenido de hollín o tierra causa desgaste severo de estas piezas.

3.3.2 Cobre

El cobre normalmente viene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas.

Los cojinetes y bujes normalmente son aleaciones y capas de diferentes metales blandos diseñados para absorber impacto y desgaste en lugar del cigüeñal y las bielas. El residuo de estos elementos viene de desgaste o corrosión.

Desgaste de cojinetes y bujes: Cuando falta lubricación hidrodinámica por falta de viscosidad o velocidad el motor depende de los aditivos anti-desgaste en el aceite para proveer lubricación límite (también llamado marginal o estática). Si el aceite no puede cumplir con este requerimiento por falta de aditivos, al existir degradación o sobrecarga, el cojinete roza contra su contraparte (el cigüeñal, biela, etc.) y desgasta.

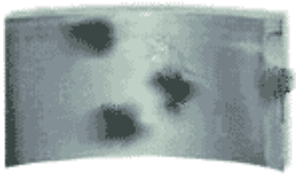
Desgaste de arandelas de empuje: Las arandelas de empuje siempre están en contacto con el bloque cuando exigimos la máxima fuerza del motor o lo sobrecargamos tratando de acelerar rápidamente o subir las montañas. Este desgaste normalmente aparece como cobre.

Desgaste de guías de válvulas: Las guías de válvulas deberían durar muchos años. Sin embargo, cuando el aceite es de baja calidad y empieza a carbonizarse en los vástagos, este carbón desgasta las guías, causando cobre en los análisis y alto consumo de aceite.

Corrosión: El enfriador de aceite (si tiene) es sujeto a corrosión por los ácidos y la humedad en el aceite. Esto es mayor cuando el motor es utilizado en viajes cortos (3 a 5 km) o no tiene termostato, y el motor no tiene tiempo para calentarse. También ocurre cuando el motor queda estacionado varios meses sin usar (invierno, entre cosechas, etc.)

3.3.3 Plomo

El plomo viene de cojinetes, volandas de empuje, bujes de bielas. También puede llegar en la gasolina.



La causa más común del plomo en el aceite es la corrosión de los cojinetes en motores que son guardados

un mes o más con aceite semi-usado o sucio. Los contaminantes y los ácidos que se forman en el aceite causan corrosión cuando no está circulando para refrescar los aditivos en contacto con los cojinetes. Observamos mucha corrosión de cojinetes en equipo agrícola y equipo de construcción que se utilizan en ciertos periodos del año y se guardan meses sin usar.

Aquí podemos ver los resultados de una Toyota 4Runner que quedo 6 semanas sin usar después de 7 meses y 4000 kilómetros en el aceite, y la próxima vez quedo 4 semanas parada con 6 meses y 5000 kilómetros en el aceite

3.3.4 Aluminio

Las partículas de desgaste de aluminio (después de eliminar lo que ingresa como tierra) viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones, arandelas de empuje y el turbo.

Normalmente los cojinetes y bujes trabajan 100% en lubricación hidrodinámica. Solamente cuando falla esta lubricación o se contamina el aceite ocurre contacto entre las piezas y desgaste adhesivo.

Desgaste de aluminio de los pistones ocurre cuando hay falla de lubricación hidrodinámica o se abre mayor espacio entre las paredes de los cilindros y los pistones permitiendo el movimiento lateral de la falda del pistón.

3.3.5 Cromo

El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite.

3.3.6 Estaño

El estaño viene de las aleaciones de metales en los cojinetes y bujes (varios) y volandas de empuje. Estos dependen 100% de la lubricación hidrodinámica.

3.3.7 Plata

La mayoría de los motores no tienen piezas de plata, pero en los que tienen (EMD) el uso de lubricantes con Zinc causará corrosión de plata.

3.4 DEGRADACIÓN DE LOS ADITIVOS

3.4.1 Calcio y Magnesio

Estos dos aditivos son detergentes/dispersantes. Son utilizados para combatir el hollín, neutralizar los ácidos formados por la humedad en la combustión, mantener los contaminantes y lodos en suspensión hasta llegar al filtro, sin dejar

que se aglomeren y formen grumos, ni que se adhieran a las superficies metálicas. Como cualquier antiácido, estos se consumen. Entre más ácido se forma por la calidad de combustible, falta de temperatura en el motor o combustión incompleta, más rápido se degradan los detergentes/dispersantes. Ambos aditivos trabajan bien para este propósito, pero el magnesio deja 45% más cenizas sulfatadas al quemarse, causando problemas de válvulas y depósitos en el motor. Por esta razón normalmente se encuentra solamente calcio o una mezcla con un máximo de de 30% del detergente/dispersante en forma de magnesio.

Hay que saber el valor inicial de cada aditivo para poder determinar su degradación. Un buen aceite (API CI-4) para motores a diesel tendrá cerca de 3300 ppm de detergente/dispersante. Un buen aceite (API SL) certificado solamente para motores a gasolina tendrá cerca de 2200 ppm de detergente/dispersante por lo que la combustión de gasolina no forma tantos ácido ni hollín.

En el recorrido de los kilómetros estos aditivos se consumen. Es normal que en el curso de 6,000 kilómetros estos aditivos bajan un 5% a 10%. Cuando bajan más de 15%, deberíamos buscar la causa o acortar el intervalo entre cambios para esa marca de aceite. Hay aceites en el mercado que pierden más de 30% de su detergente/dispersante en 6,000 kilómetros en el mismo uso o motor que otros donde sus aceites solamente pierden 8.5% con el mismo recorrido y combustible.

¿Cuáles son las causas de pérdida de detergente/dispersante?

Aditivos de mala calidad. Hay presiones en las fábricas de aceites de bajar costos de producción. La manera escogida por algunas es de formular productos con lo más barato.

Combustible de mala calidad o adulterado.

Mala combustión.

La temperatura del motor debería estar siempre encima de 80°C. Si está operando sin termostato, no llega a esta temperatura y entonces la humedad forma lodo en vez de evaporarse.

Presiones excesivas en la bomba inyectora.

Inyectores sucios o mal colocados en la cámara de combustión.

Válvulas mal reguladas.

Desgaste de anillos, camisas o bloque.

Mala sincronización de la chispa o inyección de combustible.

Limpieza de lodos dejados por el aceite anterior.

Contaminación por otros aceites inferiores, en el relleno.

3.4.2 Zinc y Fósforo (ZDDP).-

El zinc y el fósforo trabajan en conjunto para proveer lubricación límite cuando la lubricación hidrodinámica no alcanza las necesidades de presiones y fricción. Esta protección se llama antidesgaste.

ZDDP (Dialquil ditiofosfato de zinc) es una sal organometálica, compuesta de zinc, azufre y fósforo. Forma una capa de sulfato de hierro en la superficie de las piezas, donde el azufre puede actuar para atraer el zinc, dejando tres capas suaves para evitar contacto acero-acero.

Un buen aceite para un motor a diesel (API CI-4) tendrá cerca de 1450 ppm de zinc y 1350 ppm de fósforo. Aceites formulados solamente para motores a gasolina (API SL) normalmente tienen menos, cerca de 1000 ppm de zinc y 900 ppm de fósforo. Esta reducción es por lo que las compresiones en la cámara de combustión en el motor a gasolina varían entre 8:1 a 12:1, mientras las compresiones en el motor a diesel varían entre 13:1 y 20:1, causando mucho más estrés en las piezas.

La mayoría de la variación que se ve en el aceite usado es lo quemado o evaporado. Muchas veces la baja en el nivel de zinc o fósforo es por la volatilidad (calidad) del aditivo utilizado. Esta evaporación o quema del ZDDP es dañina al medio ambiente, contamina el catalizador del auto y reduce la protección a las piezas del motor.

Otra parte es absorbida por el hollín y forma parte del lodo extraído por el filtro o adherido a las piezas metálicas. Mientras menos hollín, menos deterioro del zinc y fósforo.

3.4.3 Molibdeno

Algunos aceites para motores contienen di-sulfuro de molibdeno para reducir el desgaste en altas temperaturas y presiones. En estas formulaciones el molibdeno actúa con el ZDDP para proveer la máxima protección posible. Hay formulaciones sin molibdeno y otros con 40 ppm, 100 ppm, etc. Los mejores aceites para motores a gas natural comprimido (GNC) contienen más de 300 ppm.

La primera muestra de aceite con molibdeno puede tener hasta unos 20% menos molibdeno que el valor inicial. Esto es el molibdeno que quedo pegado en las piezas del motor. Un aceite con 100 ppm puede aparecer con solamente 80 ppm

después de 6,000 kilómetros. La segunda muestra (después de otros 6,000 kilómetros) mostrará cerca de 100 ppm.

Si cambia de un aceite con molibdeno a uno que no lo tiene, las primeras muestras del aceite sin molibdeno tendrán residuos del mismo por lo que comienza a gastar de las superficies cubiertas y queda en el aceite.

3.4.4 Boro

El Boro utilizado en algunas formulaciones es un aceite sintético grupo V que actúa como aditivo anti-desgaste y modificador de fricción. Existen varias formas de boro y cada una tiene sus ventajas y desventajas. También existen formulaciones de aceites sin boro. Frecuentemente el boro es utilizado para mejorar el aceite básico para cumplir con las normas.

3.5 PROBLEMAS COMUNES DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA

3.5.1 Tierra

La tierra es lija para el motor. Al entrar, su efecto abrasivo lija los anillos y los cilindros, causando desgaste directo. Al bajar al aceite, se mezcla y comienza a circular con él, causando desgaste continuo hasta el próximo cambio. Un buen filtro de aceite volverá a eliminar las partículas sobre 8 o 10 micrones, pero si el aceite es muy viscoso, no pasará por el filtro, se abrirá la válvula de alivio de presión del filtro, permitiendo la circulación del aceite con estas partículas. De cualquier forma, las partículas menores continuarán lijando el motor hasta el próximo cambio y una parte se quedará contaminando hasta el cambio siguiente.

A veces la tierra ingresa por tapas mal cerradas, ductos rajados o rotos, abrazaderas mal ajustadas, adaptaciones mal ejecutadas, y otras entradas.

3.5.2 Combustión

Más del 50% de los resultados que se revisa demuestran un exceso de hollín. Hollín es el residuo de combustible mal quemado convertido a una forma de carbón. Las partículas de hollín son pequeñas y duras. Son excelentes lijas que reducen la vida útil del árbol de levas y otras partes donde hay alta presión en el motor. Son tan pequeñas que pueden circular por el filtro de aceite sin atraparse, lijando continuamente hasta el cambio de aceite.

El hollín de la combustión sale por dos lugares, una parte va al aire en forma de humo negro y la otra directo al aceite.

3.5.3 Combustible

Muchas veces el problema de inyección es tan serio que se encuentra 10% o más de combustible crudo en el aceite analizado.

3.5.4 Agua

El agua causa herrumbre y aumenta el potencial corrosivo de los ácidos. También reacciona con ciertos aditivos para formar productos agresivos. El agua también actúa como catalizador para promover oxidación en la presencia de metales como hierro, cobre y plomo. Cuando hay agua libre en el cárter, pueden crearse micro-organismos que se comen el aceite, formando ácidos que causan oxidación y obstruyen el filtro.

El agua reduce la película lubricante e interfiere con la lubricación dejando las piezas susceptibles al desgaste abrasivo, adhesivo y fatiga. En áreas de presión las gotas de agua colapsan causando cavitación. Esta cavitación se ve como corrosión o picado de la superficie donde hay diferencias de presiones. Las burbujas de agua (o aire en caso de espuma por exceso de aceite en el cárter) llegan al punto de presión e implosión, causando grietas pequeñas o puntos microscópicos en la superficie. Cada vez que implosiona otra burbuja en el mismo lugar se agranda este punto.

3.6 MANTENIMIENTO EN BASE A ANÁLISIS DE ACEITE LUBRICANTE

El trabajo de "monitoreo de aceite lubricante en uso ISO-TEST" es un proceso científico de ensayos de laboratorio con el fin de determinar la presencia y origen de contaminantes en el aceite, así como de verificar eventuales cambios en las características del fluido.

Por las múltiples funciones que ejerce (lubricación, refrigeración, limpieza, protección contra agentes corrosivos) y por el acceso a los puntos mas íntimos de una máquina, el aceite constituye un "trazador" de extrema confianza: un análisis de las innumerables "impresiones" recogidas - elementos de contaminación, desgaste y/o oxidación, transformaciones fisicoquímicas – traducen, en manos experimentadas, las verdaderas condiciones de los componentes de los sistemas lubricados.

Así, con rapidez y precisión, se logra un valioso apoyo en el mantenimiento de conjuntos mecánicos: equipamientos automotrices e industriales (tractores, camiones, elevadores, reductores, guinches, compresores, sistemas hidráulicos, perforadoras, etc.)

Monitorear regularmente lubricantes y fluidos hidráulicos o refrigerantes es garantía para un trabajo en niveles de contaminación no perniciosos: los resultados van desde la economía en el consumo del fluido (mayor tiempo de utilización en servicio) hasta la toma de decisión de la oportunidad de una intervención correctiva evitando grandes perjuicios económicos debido a fallas severas.

El Mantenimiento Predictivo busca detectar tempranamente fallas de un equipo mediante la utilización de técnicas como el análisis de aceite, análisis vibracional o termografía.

El Mantenimiento Proactivo enfatiza la rutina de la detección de parámetros de forma tal de permitir la corrección de las condiciones de causas de fallas, tratando así de evitar que la misma ocurra.

De esta manera el Mantenimiento Proactivo actúa muchas veces corrigiendo el Protocolo de Mantenimiento Preventivo de los equipos monitoreados que surge de los fabricantes o de técnicos de mantenimiento, sustituyéndolo por el que se origina de un seguimiento minucioso de los parámetros relevados con las técnicas antes citadas.

La incorporación de técnicas de mantenimiento predictivo y proactivo mediante el análisis del lubricante de motores diesel ha permitido aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, permitiendo reducir costos en repuestos, mano de obra, tiempo de paro, lubricantes, etc., mejorando el aprovechamiento de los recursos.

La experiencia adquirida hasta el momento ha permitido:

*Optimizar la combustión, disminuir la dilución por combustible y la contaminación ambiental.

*Conocer el desgaste normal de los motores

*Reducir el consumo de lubricantes

*Reformular el protocolo de mantenimiento preventivo

Haremos en una breve descripción de las técnicas utilizadas en los laboratorios, el procesamiento de los datos adquiridos y la experiencia positiva del relacionamiento creciente entre laboratorio y taller de mantenimiento.

Daremos un par de ejemplos de como mediante un seguimiento riguroso del análisis de metales de desgaste y contaminación por técnicas de Espectrometría Atómica en aceite lubricante es posible detectar una causa de falla antes de que la misma produzca daños, evitando así el perjuicio en un equipo dado.

3.6.1 Laboratorio de análisis de aceite de motores

El trabajo de analizar una muestra de aceite (u otro fluido) en uso, consiste en realizar un conjunto de ensayos de laboratorio con el fin de determinar la presencia de contaminantes en el aceite, su origen, así como de verificar eventuales cambios en las características del fluido. Estas informaciones son obtenidas y procesadas por personal especializado, utilizándose técnicas y

equipamientos modernos. Es de destacar que para que el trabajo sea redituable el muestreo debe realizarse en forma adecuada: equipo en funcionamiento y a la temperatura de operación, envases nuevos para muestras, cantidad suficiente de muestra, datos del equipo (producto, horas, kilómetros), etc.

Los ensayos más utilizados y su significación son:

3.6.1.1 Viscosidad cinemática (ASTM D-445).-

Una medida del la resistencia del aceite a fluir. El cambio de la misma en los aceites usados pone de manifiesto problemas de oxidación, presencia de agua, dilución por combustible, etc.

3.6.1.2 Determinación de contenido de agua (ASTM D-95).-

La presencia de agua puede indicar problemas vinculados al agua de refrigeración, condensación, etc.

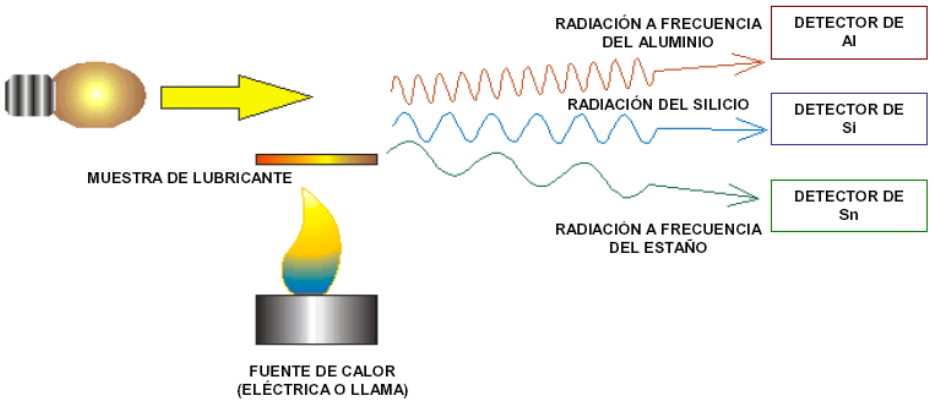
3.6.1.3 Determinación del TBN (ASTM D-2896)

Mide la capacidad residual de aditivos básicos del lubricante que protegen al equipo de la corrosión.

3.6.1.4 Análisis de metales por Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS)

Existen tres fuentes que originan metales: metales de desgaste, aditivos y contaminantes.

Este análisis, en conjunto con el conteo de partículas, es el más popular en la implementación de programas de mantenimiento predictivo, debido a que en los centros industriales, los proveedores de lubricante ofrecen el servicio como un valor agregado a la venta. El principio básico consiste en someter la muestra de lubricante a una fuente alto voltaje (15 kV) en la cual se calienta y libera energía. Fenómenos especiales de radiación se generan, en los cuales se pueden diferenciar y asignar las radiaciones a diferentes frecuencias a elementos específicos constituyentes del lubricante. La intensidad de radiación a una frecuencia específica es proporcional a la concentración de su respectivo elemento.



Algunos de los elementos detectados más importantes son:

*Silicio: polvo, aditivos antiespumantes.

*Calcio: polvo, aditivos detergentes.

*Bario, Magnesio: aditivos detergentes.

*Hierro: engranajes y rodamientos.

*Cobre: babbitt de cojinetes de fricción o separadores de rodamientos

*Cromo: anillos y camisas de pistón.

*Aluminio: pistones.

*Estaño, Cobre, Plata: cojinetes.

*Plomo: contaminación con gasolina.

*Vanadio, Sodio: combustible quemado.

El proveedor del aceite cuenta con tablas de valores máximos de elementos en el lubricante, en relación al tipo de máquina y proceso productivo. A continuación se muestra otro aparte de nuestro informe en el cual se relacionan las concentraciones medidas de diversos elementos relacionadas con los máximos permisibles (nuevamente, según el proveedor. Debemos tener en cuenta que todas las máquinas son diferentes y sus condiciones de operación en diferentes regiones también lo son).

Otro análisis generalmente incluido en este tipo de reportes es el de propiedades fisicoquímicas. Incluye referencias a la oxidación, apariencia, % agua y viscosidad.

Metales de desgaste: Estos metales indican desgastes en componentes particulares de una unidad estudiada permitiendo evaluar el estado de los mismos (hierro, cromo, plomo, cobre, etc.)

Aditivos: Existen metales en numerosos paquetes de aditivos de lubricantes; la caída de concentración de los mismos dan una idea del deterioro de las propiedades del lubricante (Magnesio, Zinc, Calcio, etc.).

Contaminantes: Contaminantes externos (polvo, tierra, refrigerante) pueden ser detectados de acuerdo a componentes metálicos presentes en los mismos, indicando una falla en la estanqueidad del sistema lubricante (Silicio, Sodio, Aluminio, etc.).

3.6.1.5 Dilución por combustible por Cromatografía de gases (ASTM D-3524)

El pasaje de combustible al aceite es frecuente en motores con problemas de mala relación aire/combustible por problemas de inyección, compresión, etc.

3.6.1.6 Determinación de contenido de insolubles (insolubles en pentano y tolueno; ASTM D-893)

Indica la presencia de contaminantes sólidos (productos de oxidación, hollín, contaminantes externos) e identificación de la naturaleza de los mismos.

Espectrofotómetro de absorción atómica

Iso - Test Nº

DATOS DEL CLIENTE			
Razón Social:			
Contacto:			
Rep. de Venta:			
DATOS DEL EQUIPO			
Equipo / Nombre:			
Marca:			
Modelo:	Serie:		
Tipo de Combustible / Energía:	Horometro / Km:		
Cap. Depósito de Aceite (Gal / Lt):	Rellenos (Gal / Lt):		
Régimen de Trabajo:			

DATOS DEL LUGAR DE TRABAJO			
Lugar:			
Altitud (msnm):			
Temp. Ambiente (min-max °C):			
Polución:	B	M	A
Humedad:	B	M	A
Precipitación Pluvial:	B	M	A
B: Baja	B: Media	B: Alta	

DATOS DEL LUBRICANTE		
Nombre:	Marca:	
Grado (SAE / ISO):	Muestra Tomada de:	
Nivel de Calidad:	Horometro / Km:	Fecha de Muestreo:
Observaciones:		

PROCESAMIENTO DE DATOS:

El manejo de las indicaciones de los parámetros aislados puede ser útil para la evaluación del aceite en uso, pero difícilmente lo es para la información del estado del equipo, para el cual es necesario un seguimiento histórico de las mismas.

La construcción de una base de datos y gráficos de los parámetros en el tiempo permite, mediante la observación de los cambios en la tasa de crecimiento (indicada por la pendiente), alcanzar el objetivo estratégico del mantenimiento proactivo: detener el equipo antes que la falla ocurra.

FLUJO DE LA INFORMACIÓN:

El procesamiento de la información surgida del análisis del aceite culmina con un informe del estado del mismo y del motor, éste es enviado al taller mecánico, donde las acciones a tomar referentes al mantenimiento son elaboradas tomando las recomendaciones del laboratorio como una herramienta valiosa.

El Laboratorio es retroalimentado con información surgida del Taller referente a reparaciones de mantenimiento correctivo o fallas severas de forma de permitir elaborar una lista de "síntomas" que sean detectados más fácilmente en el futuro con antelación por el equipo de mantenimiento.

CAPÍTULO IV
ESTUDIO DE CASOS REALES

4.1 Desarrollo de los Casos

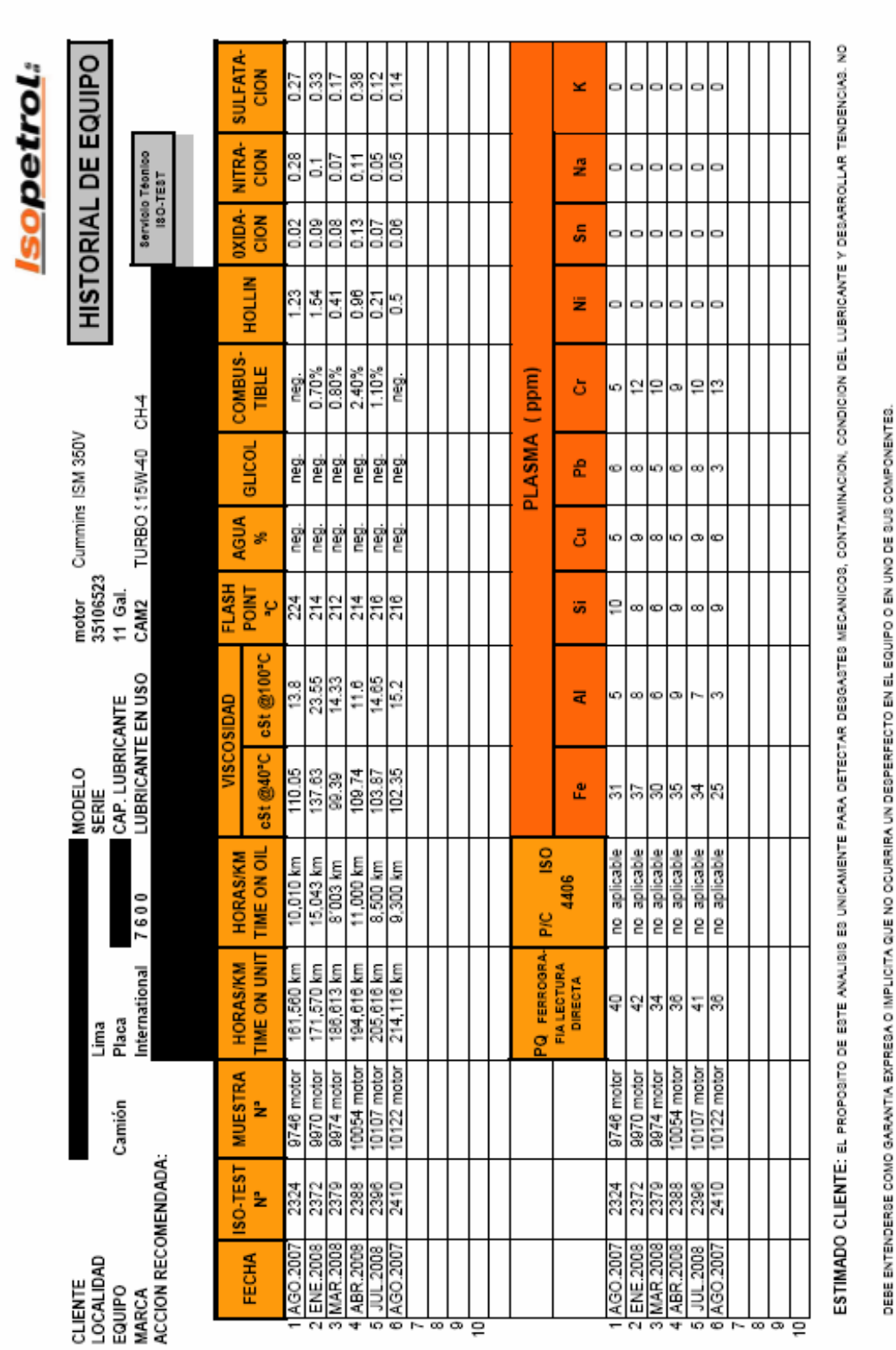
Para el desarrollo del trabajo se selecciono un camión de carga pesada INTERNATIONAL 7600 con motor de las siguientes características:

Motor

- Marca: CUMMINS
- Modelo: ISM 350 V
- Potencia nominal: 335 HP @ 2100 RPM
- Potencia máxima: 350 HP @ 2100 RPM
- Torque máximo: 1450 lbs-pie @ 1200 RPM
- Toma de fuerza: Cummins Repto 1.15: 1

4.1.1 CASO 1:

Los análisis de aceites correspondientes al motor diesel CUMMINS ISM 350V de un camión tractor INTERNATIONAL 7600 que utiliza un aceite SAE 15W-40 de especificación de calidad API CH-4 (1998)



isopetrol

HISTORIAL DE EQUIPO

Servicio Técnico ISO-TEST

CLIENTE [redacted]
LOCALIDAD Lima
EQUIPO Camión Placa [redacted]
MARCA International 7 6 0 0
ACCION RECOMENDADA: [redacted]

MODELO Cummins ISM 350V
SERIE motor 35106523
CAP. LUBRICANTE 11 Gal.
LUBRICANTE EN USO CAM2 TURBO 15W-40 CH-4

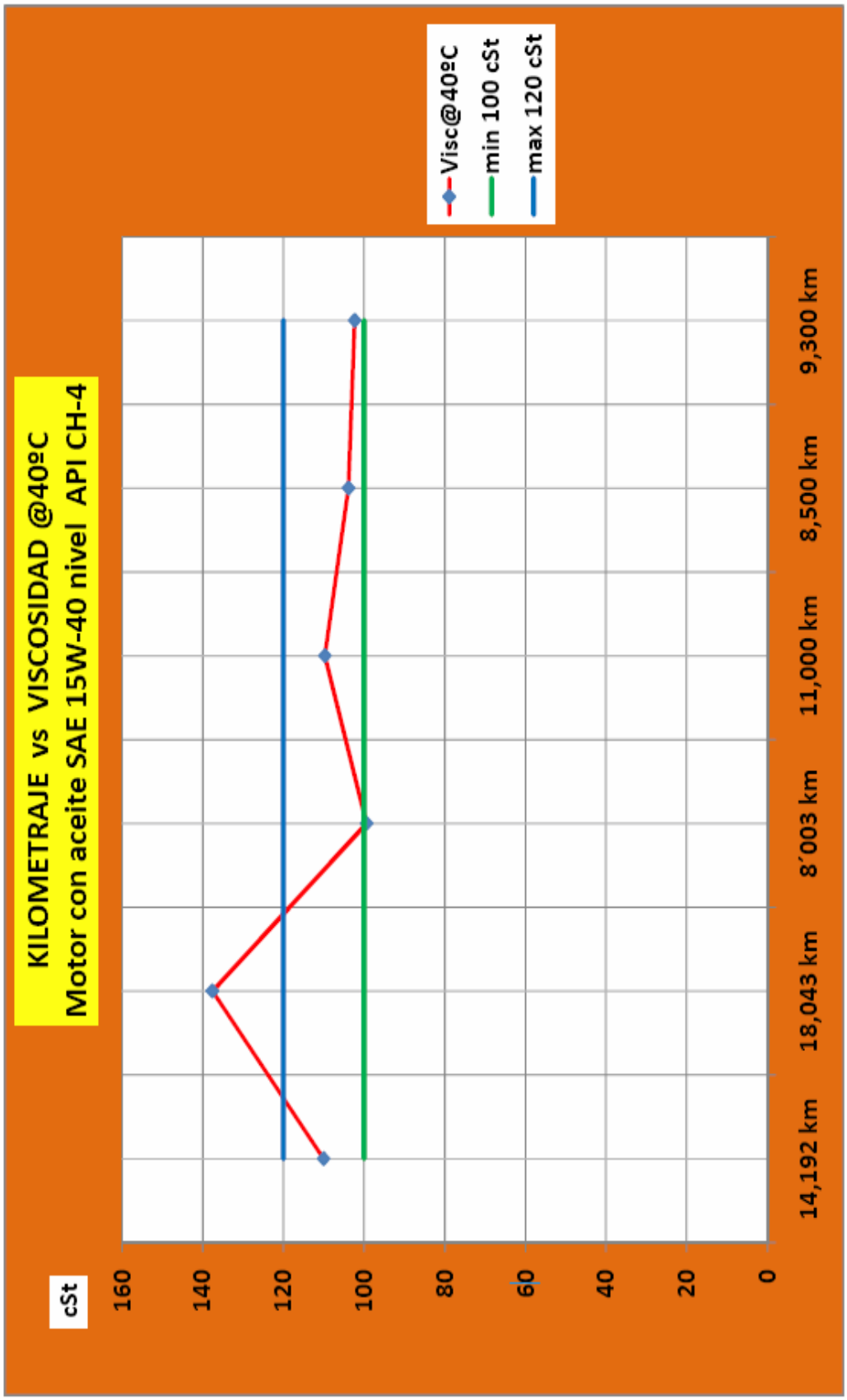
	FECHA	ISO-TEST Nº	MUESTRA Nº	HORAS/KM TIME ON UNIT	HORAS/KM TIME ON OIL	VISCOSIDAD cSt @40ºC	VISCOSIDAD cSt @100ºC	FLASH POINT ºC	AGUA %	GLICOL	COMBUS-TIBLE	HOLLIN	OXIDA-CION	NITRA-CION	SULFATA-CION
1	AGO.2007	2324	9746 motor	161,580 km	10,010 km	110.05	13.8	224	neg.	neg.	neg.	1.23	0.02	0.28	0.27
2	ENE.2008	2372	9870 motor	171,570 km	15,043 km	137.63	23.55	214	neg.	neg.	0.70%	1.54	0.09	0.1	0.33
3	MAR.2008	2379	9874 motor	186,613 km	8'003 km	99.39	14.33	212	neg.	neg.	0.80%	0.41	0.08	0.07	0.17
4	ABR.2008	2388	10054 motor	194,616 km	11,000 km	109.74	11.6	214	neg.	neg.	2.40%	0.96	0.13	0.11	0.38
5	JUL.2008	2396	10107 motor	205,616 km	8,500 km	103.87	14.65	216	neg.	neg.	1.10%	0.21	0.07	0.05	0.12
6	AGO.2007	2410	10122 motor	214,116 km	9,300 km	102.35	15.2	216	neg.	neg.	neg.	0.5	0.06	0.05	0.14
7															
8															
9															
10															

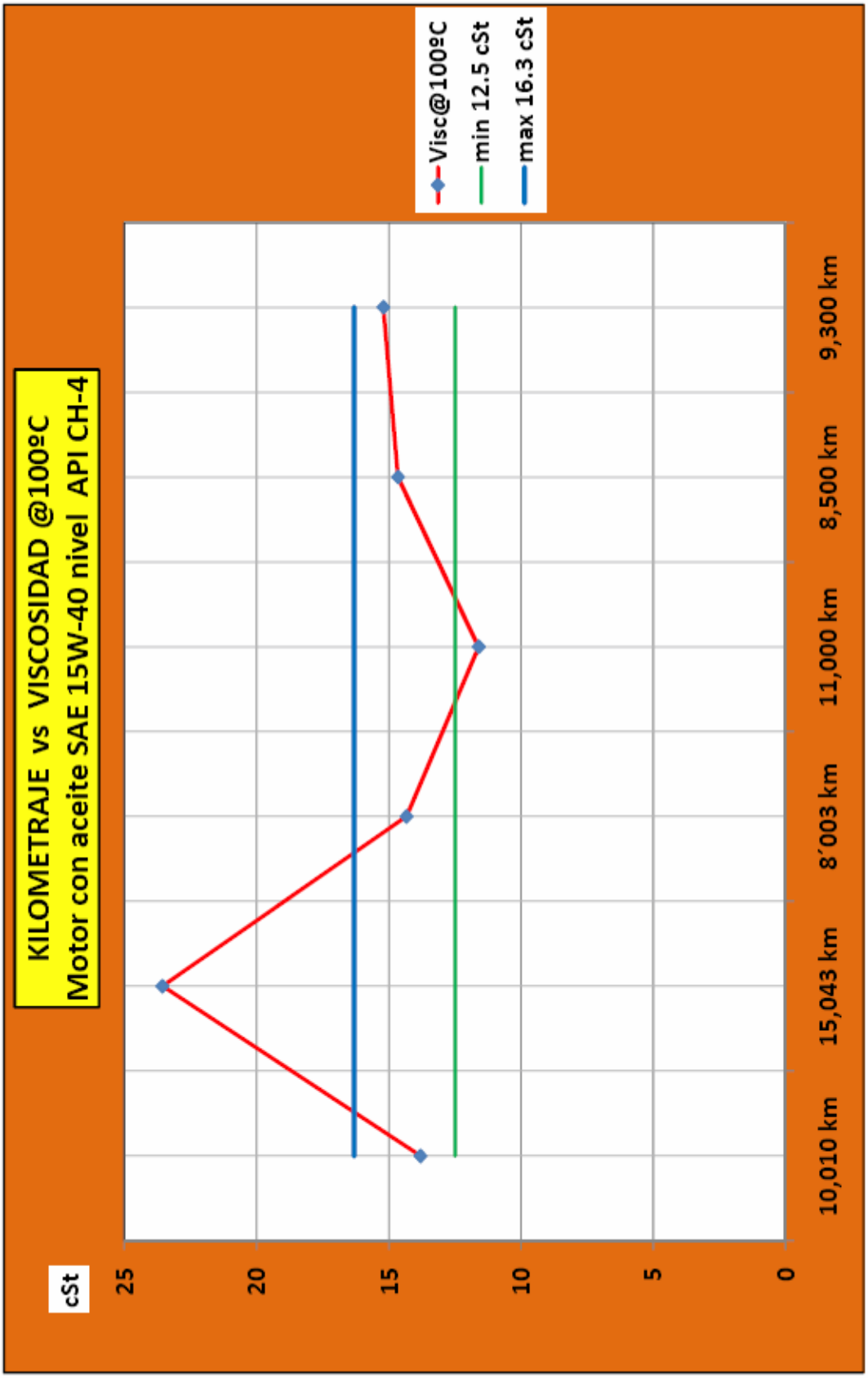
PLASMA (ppm)

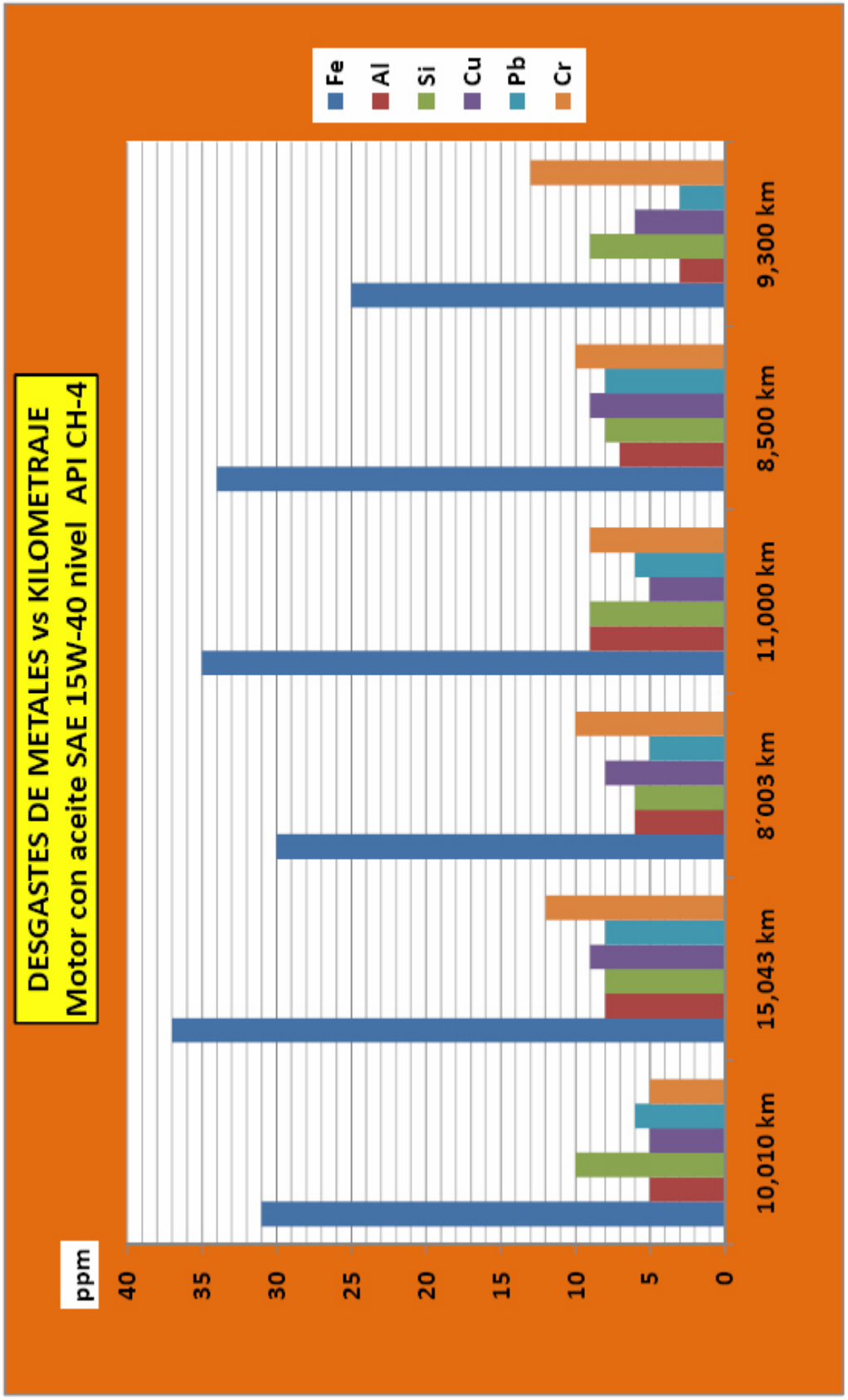
	PQ FERROGRA-FIA LECTURA DIRECTA	P/C ISO 4406	Fe	Al	Si	Cu	Pb	Cr	Ni	Sn	Na	K
1	40	no aplicable	31	5	10	5	6	5	0	0	0	0
2	42	no aplicable	37	8	8	9	8	12	0	0	0	0
3	34	no aplicable	30	6	6	8	5	10	0	0	0	0
4	36	no aplicable	35	9	9	5	6	9	0	0	0	0
5	41	no aplicable	34	7	8	9	8	10	0	0	0	0
6	36	no aplicable	25	3	9	6	3	13	0	0	0	0
7												
8												
9												
10												

ESTIMADO CLIENTE: EL PROPOSITO DE ESTE ANALISIS ES UNICAMENTE PARA DETECTAR DESGASTES MECANICOS, CONTAMINACION, CONDICION DEL LUBRICANTE Y DESARROLLAR TENDENCIAS. NO DEBE ENTENDERSE COMO GARANTIA EXPRESA O IMPLICITA QUE NO OCURRIRA UN DESPERFECTO EN EL EQUIPO O EN UNO DE SUS COMPONENTES.

SIG-F-G-89 REV00 Diciembre 07

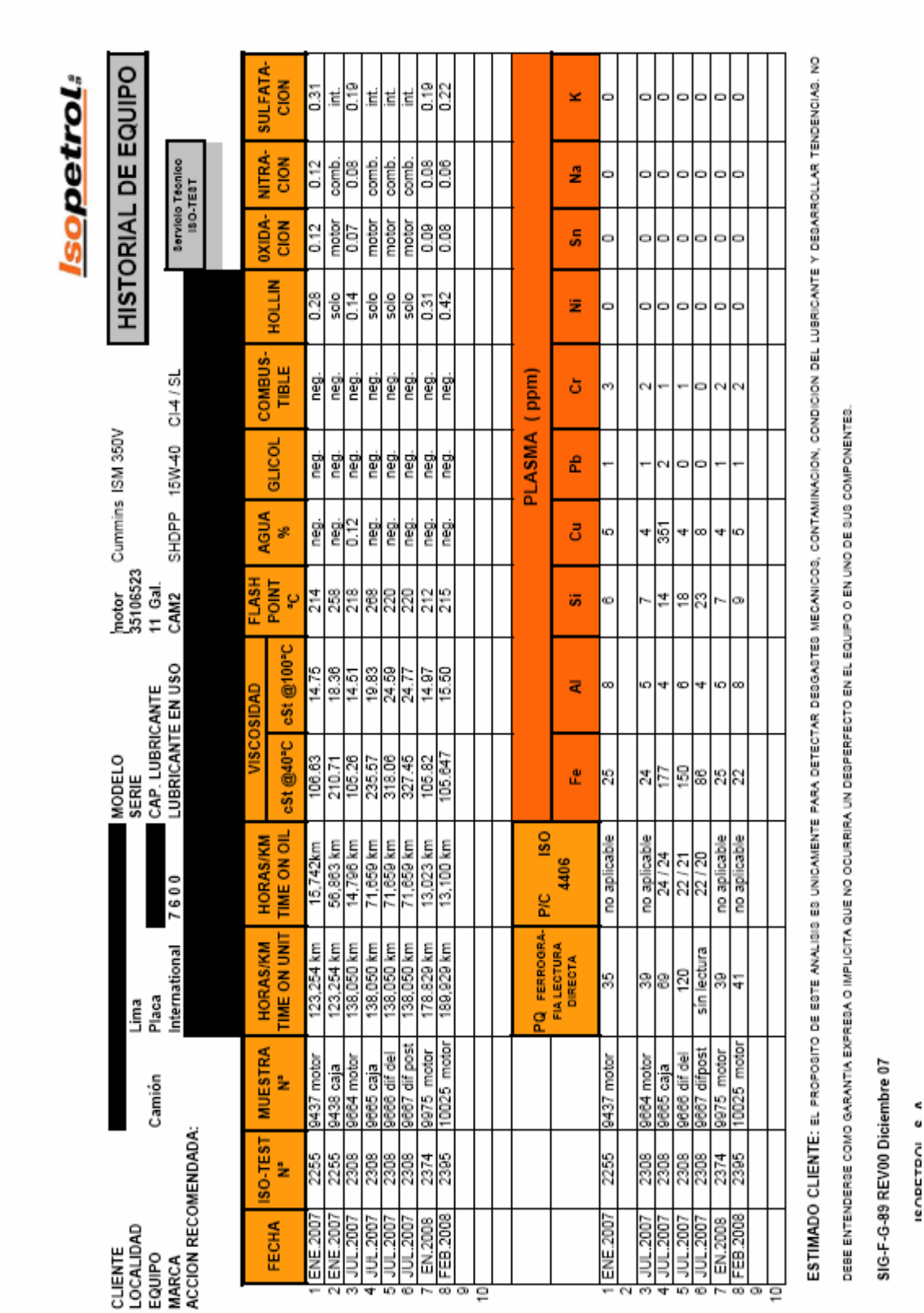

KILOMETRAJE vs VISCOSIDAD @40ºC
Motor con aceite SAE 15W-40 nivel API CH-4
cSt
160
140
120
100
80
60
40
20
0
14,192 km
18,043 km
8´003 km
11,000 km
8,500 km
9,300 km
Visc@40ºC
min 100 cSt
max 120 cSt


KILOMETRAJE vs VISCOSIDAD @100ºC
Motor con aceite SAE 15W-40 nivel API CH-4
cSt
25
20
15
10
5
0
10,010 km
15,043 km
8´003 km
11,000 km
8,500 km
9,300 km
Visc@100ºC
min 12.5 cSt
max 16.3 cSt


DESGASTES DE METALES vs KILOMETRAJE
Motor con aceite SAE 15W-40 nivel API CH-4
ppm
40
35
30
25
20
15
10
5
0
10,010 km
15,043 km
8´003 km
11,000 km
8,500 km
9,300 km
Fe
Al
Si
Cu
Pb
Cr

4.1.2 CASO 2:

Los análisis de aceites correspondientes al motor diesel CUMMINS ISM 350V de un camión tractor INTERNATIONAL 7600 que utiliza un aceite SAE 15W-40 de especificación de calidad API CI-4 (2002)



isopetrol

HISTORIAL DE EQUIPO

Servicio Técnico ISO-TEST

CLIENTE [redacted] MODELO motor Cummins ISM 350V
LOCALIDAD Lima SERIE 35106523
EQUIPO Camión Placa [redacted] CAP. LUBRICANTE 11 Gal.
MARCA International 7600 LUBRICANTE EN USO CAM2 SHDPP 15W-40 CI-4 / SL
ACCION RECOMENDADA: [redacted]

	FECHA	ISO-TEST Nº	MUESTRA Nº	HORAS/KM TIME ON UNIT	HORAS/KM TIME ON OIL	VISCOSIDAD cSt @40°C	VISCOSIDAD cSt @100°C	FLASH POINT °C	AGUA %	GLICOL	COMBUS-TIBLE	HOLLIN	OXIDA-CION	NITRA-CION	SULFATA-CION
1	ENE.2007	2255	9437 motor	123,254 km	15,742km	106.63	14.75	214	neg.	neg.	neg.	0.28	0.12	0.12	0.31
2	ENE.2007	2255	9438 caja	123,254 km	56,863 km	210.71	18.38	258	neg.	neg.	neg.	solo	motor	comb.	int.
3	JUL.2007	2308	9664 motor	138,050 km	14,796 km	105.26	14.51	218	0.12	neg.	neg.	0.14	0.07	0.08	0.19
4	JUL.2007	2308	9665 caja	138,050 km	71,659 km	235.57	19.83	268	neg.	neg.	neg.	solo	motor	comb.	int.
5	JUL.2007	2308	9666 dif del	138,050 km	71,659 km	318.06	24.59	220	neg.	neg.	neg.	solo	motor	comb.	int.
6	JUL.2007	2308	9667 dif post	138,050 km	71,659 km	327.46	24.77	220	neg.	neg.	neg.	solo	motor	comb.	int.
7	EN.2008	2374	9975 motor	178,829 km	13,023 km	105.82	14.97	212	neg.	neg.	neg.	0.31	0.09	0.08	0.19
8	FEB.2008	2395	10025 motor	189,929 km	13,100 km	105.647	15.50	215	neg.	neg.	neg.	0.42	0.08	0.06	0.22
9															
10															

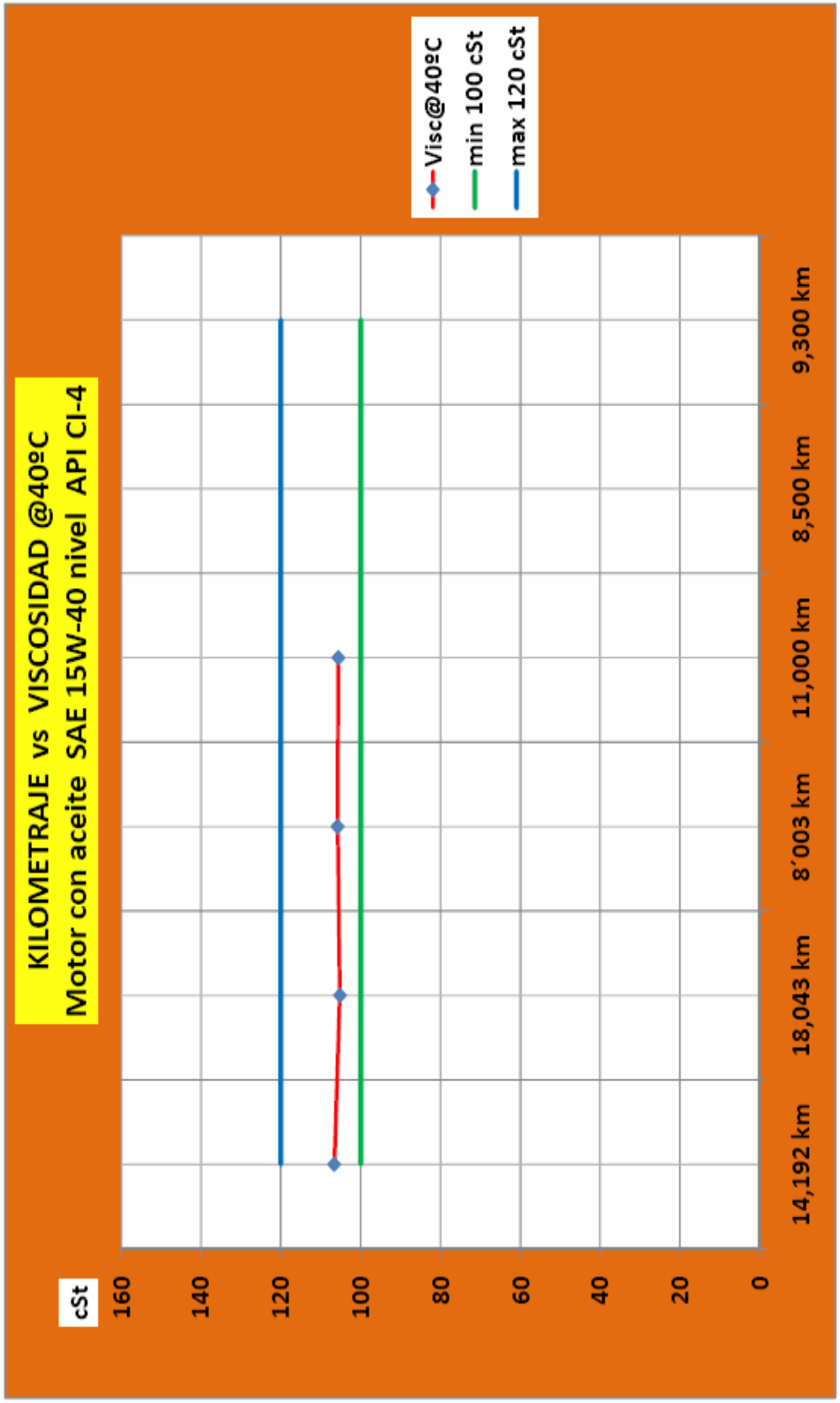
PLASMA (ppm)

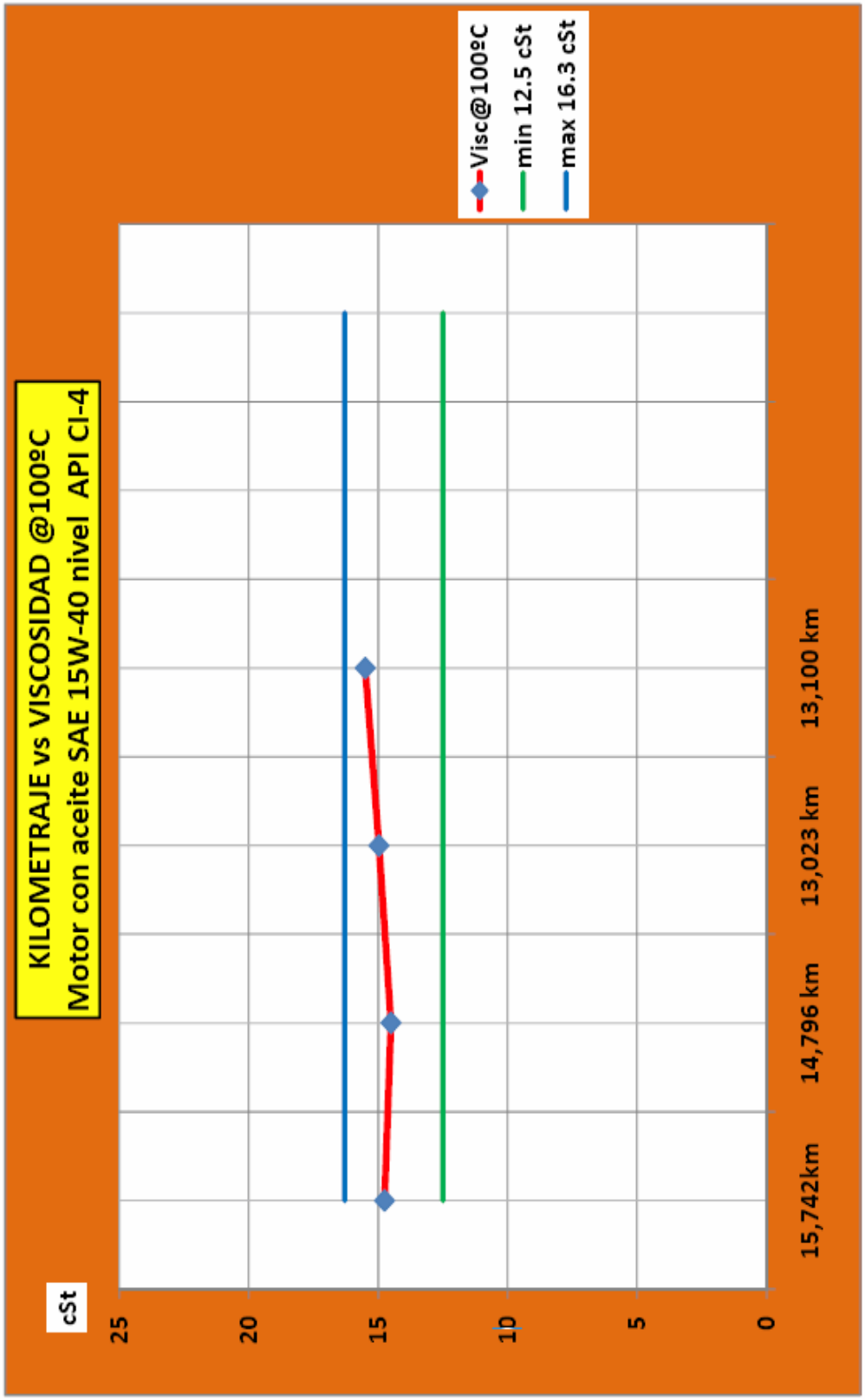
	PQ FERROGRA-FIA LECTURA DIRECTA	P/C ISO 4406	Fe	Al	Si	Cu	Pb	Cr	Ni	Sn	Na	K
1	35	no aplicable	25	8	6	5	1	3	0	0	0	0
2												
3	39	no aplicable	24	5	7	4	1	2	0	0	0	0
4	69	24 / 24	177	4	14	351	2	1	0	0	0	0
5	120	22 / 21	150	6	18	4	0	1	0	0	0	0
6	sin lectura	22 / 20	86	4	23	8	0	0	0	0	0	0
7	39	no aplicable	25	5	7	4	1	2	0	0	0	0
8	41	no aplicable	22	8	9	5	1	2	0	0	0	0
9												
10												

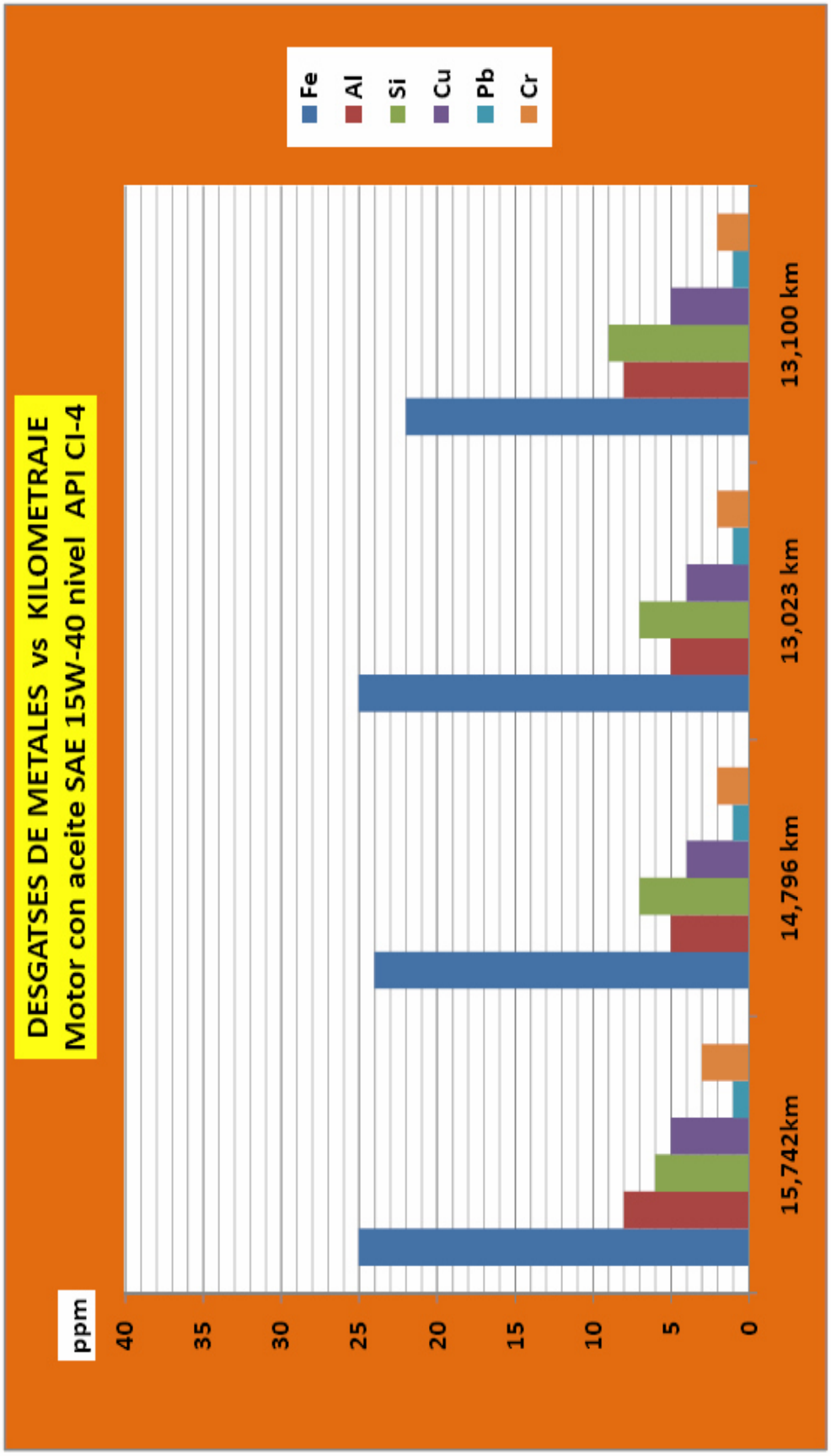
ESTIMADO CLIENTE: EL PROPOSITO DE ESTE ANALISIS ES UNICAMENTE PARA DETECTAR DESGASTES MECANICOS, CONTAMINACION, CONDICION DEL LUBRICANTE Y DESARROLLAR TENDENCIAS. NO DEBE ENTENDERSE COMO GARANTIA EXPRESA O IMPLICITA QUE NO OCURRIRA UN DESPERFECTO EN EL EQUIPO O EN UNO DE SUS COMPONENTES.

SIG-F-G-89 REV00 Diciembre 07

ISOPETROL S. A.


KILOMETRAJE vs VISCOSIDAD @40ºC
Motor con aceite SAE 15W-40 nivel API CI-4
cSt
160
140
120
100
80
60
40
20
0
14,192 km
18,043 km
8´003 km
11,000 km
8,500 km
9,300 km
Visc@40ºC
min 100 cSt
max 120 cSt


KILOMETRAJE vs VISCOSIDAD @100ºC
Motor con aceite SAE 15W-40 nivel API CI-4
cSt
25
20
15
10
5
0
15,742km
14,796 km
13,023 km
13,100 km
Visc@100ºC
min 12.5 cSt
max 16.3 cSt


DESGATSES DE METALES vs KILOMETRAJE
Motor con aceite SAE 15W-40 nivel API CI-4
ppm
40
35
30
25
20
15
10
5
0
15,742km
14,796 km
13,023 km
13,100 km
Fe
Al
Si
Cu
Pb
Cr

Los aceites de última generación que proveen la máxima protección para los motores a diesel llevan la clasificación CI-4 autorizada por el API

API CH-4:

En 1998 para reducir las emisiones se atrasó la inyección de combustible a los cilindros. Mientras esto está bien para el medio ambiente, aumenta el área del cilindro expuesto al hollín, aumentando la cantidad de hollín que llega al aceite.

Al mismo tiempo se empezó a colocar el anillo superior más cerca de la cima del pistón para dejar menos espacio donde crear residuos, pero esto arrastra más residuos al aceite.

También se había notado que por la reducción en merma, se había reducido las emisiones pero también se había reducido la adición de aceite nuevo que traía nuevos aditivos. Se tenía que aumentar el nivel de aditivos al aceite para compensar la falta de relleno constante.

Durante la década de los 90's se había ido aumentando el tamaño de los motores y su potencia. Con el aumento de potencia, se aumenta el tiempo de inyección, aumentando el nivel de hollín producido.

Antes de estos cambios los dueños ya habían disfrutado de intervalos extendidos entre cambios. No querían volver a cambiar con la frecuencia anterior. Si el aceite no puede dispersar el hollín se aumenta el desgaste del tren de válvulas y los inyectores, se taponan los filtros, se aumenta el desgaste de cojinetes y se forma lodo en las tapas de válvulas, el motor y el cárter.

API CI-4:

Los cambios en los motores que se desarrollaban desde los años 90's para bajar la contaminación al medio ambiente y extender la vida útil del motor, indicaron que se tenía que mejorar los aceites o acortar los intervalos entre cambios de aceite.

Para reducir el nivel de NOx, los fabricantes de motores desarrollaron un sistema de enfriamiento y recirculación de gas al cilindro. Para hacer esto tienen que compensar con mayores presiones del turbo, llegando en algunos casos hasta 2,800 psi en la presión de encendido y 35,000 psi en los inyectores. El escape enfría pasando su calor al refrigerante, que a su vez lo pasa al aceite.

La introducción del escape al cilindro aumenta el nivel de ácido que entra al aceite. Esto requiere mejores aditivos para evitar corrosión en los anillos, las camisas, los cojinetes y los bastones de las válvulas. Esto es más importante en climas fríos donde hay más condensación y menos evaporación.

Además, la recirculación de gases aumenta el tiempo que el aceite está en las paredes de los cilindros cuando está con NOx durante los ciclos de entrada y compresión.

Para controlar estos efectos se desarrollaron 3 pruebas nuevas en motores. Similares a las del CH-4, pero para motores con recirculación de gases (EGR) por lo tanto más estrictas:

En total la categoría CI-4 incluye oficialmente 8 pruebas en motores y 7 en bancos de prueba. Dentro de las pruebas nuevas son pruebas de compatibilidad con los retenes y bombeabilidad en temperaturas bajas con un contenido de 5% de hollín.

4.2 INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE ACEITE DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Cuando revisamos los análisis de aceite de motores tenemos que tomar en cuenta varios factores:

El combustible utilizado:

Diesel: Combustible "sucio", motor de alta compresión, problemas frecuentes con inyectores y bombas inyectoras.

Gasolina: Combustible relativamente limpio, compresión variable entre modelos, pero menor que los motores a diesel.

GNC (Gas Natural Comprimido): Combustible limpio, problemas de nitración y oxidación en los aceites.

El uso del motor:

Camión: Alta carga, normalmente rutas largas.

Auto Particular: Todo rango de velocidad, cargas y tipo de viaje.

Taxi: Mucho uso en la ciudad utilizando primera y segunda marcha. Pocos kilómetros para muchas horas de trabajo.

Auto de carrera: Altas velocidades, revoluciones y fuerzas.

Tractor o implemento agrícola: Una sola velocidad, alta carga, alta contaminación por tierra, frecuentemente estacionado 4 o 5 meses entre usos.

El tamaño del cárter (capacidad de aceite) relacionado al tamaño del motor.

El aceite utilizado y sus valores originales.

Las horas o kilómetros que el aceite fue utilizado.

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS COMPARATIVOS

La viscosidad del aceite de motor se mide a 100ºC y debería mantenerse dentro de los rangos establecidos por el API para el grado utilizado. Un SAE 15W-40 debería mantenerse entre 12.5 cSt y 16.3 cSt a 100ºC. Variaciones dentro de este rango no son significativas. Para los valores de otras viscosidades vea la tabla SAE J300. La pérdida de viscosidad causará mayor desgaste de cojinetes (plomo, estaño, bronce) por falta de lubricación hidrodinámica. El aumento de viscosidad puede causar mayor desgaste de anillos y alta presión de aceite que puede abrir la válvula de alivio de presión del filtro de aceite y pasar aceite sucio al motor.

01) Los gráficos nos muestran los resultados de dos motores marca CUMMINS ISM 350V uno de ellos utilizando aceite de motor SAE 15W-40 de calidad API CH-4 (1998) y el otro utilizando aceite de motor SAE 15W-40 de calidad API CI-4 (2002); se puede observar en los resultados y en los gráficos que con un aceite de mejor calidad (API CI-4) podemos controlar la taza de desgaste de los componentes metálicos de un motor de combustión interna; debido a que un aceite con calidad superior contiene mas paquetes de aditivos, lo cual provee de mayor tiempo de frecuencia entre cambio de aceite de motor.

02) En el caso del motor con un aceite SAE 15W-40 de calidad API CH-4 se observa en los gráficos de Kilometraje vs Viscosidad @ 100ºC, que es la prueba de laboratorio a temperatura de operación del motor y quien nos indica la viscosidad al momento del funcionamiento del vehículo; que cundo se analizo la segunda muestra con 15,043 Km se ve un aumento excesivo de la viscosidad a 100ºC.

Cuando se evalúa la viscosidad en los reportes se observa.

Si aumentó la viscosidad, las causas más probables pueden ser:

Oxidación del aceite (alta temperatura, altas revoluciones o baja calidad de aceite básico).

Contaminación por agua o glicol (falla de empaquetadura de culata, perforación de camisas o bloque).

Contaminación por alta acumulación de hollín (combustible de baja calidad, mala combustión, ausencia o falla de termostato, problemas de bomba inyectora o inyectores).

Contaminación por tierra (falla del filtro de aire, perforaciones en el sistema de entrada de aire).

Para nuestro caso #1, esto se debió al tiempo prolongado de uso del aceite que origino su contaminación por hollín (1.54 ver resultados de análisis) producto de la combustión del diesel, lo cual no ocurría tan prematuro de usar un aceite de calidad superior CI-4 tal y como se puede observar en los resultados y gráficos del caso #2 donde el aceite estuvo trabajando un promedio de 14,000 km y no presentaba indicios de aumento de viscosidad a 100ºC, y es mas estable y esta dentro del rango adecuado para un aceite 15w-40 (12.5 cSt - 16.3 cSt), ya que estos aceites de calidad API CI-4 contienen mas aditivos antioxidantes que retardan el aumento de viscosidad del aceite lubricante.

En este caso la recomendación técnica es no prolongar demasiado el tiempo entre cambio de aceite y mas aun si se trata de un aceite de no muy buena calidad que no permiten tiempos prolongados de uso, seguir monitoreando y sacar muestra para próximo análisis a los 5,000 km.

03) También se observa en los gráficos de *Kilometraje vs Viscosidad @ 100ºC* del aceite SAE 15W-40 de calidad API CH-4 en la cuarta muestra la viscosidad a caído por debajo de los limites permisibles para este aceite.

Cuando se evalúa la viscosidad en los reportes se observa:

Si bajó la viscosidad, las causas más probables pueden ser:

Dilución con aceite más delgado (puede ser aceite hidráulico, de transmisión, u otro, o un SAE 5W-30 aumentado al SAE 15W-40 por error del operario).

Contaminación por combustible (problemas de inyectores, falta de termostato, viajes cortos, marcha en vacío, etc.).

Rotura o ruptura de polímeros (utilizados para fabricar el aceite multigrado) por cizallamiento (polímeros baratos, altas temperaturas o presiones, molienda entre los engranajes o anillos).

Para nuestro caso #1 observando los resultados se puede apreciar que la causa es la dilución por combustible (2.40 %) en el aceite lo cual origina la disminución dela película lubricante y esto produce un a ruptura por cizallamiento en la película lubricante y no protege las partes internas del motor de combustión interna.

En este caso la recomendación técnica es cambio total del aceite en el carter y la revisión del sistema de inyección de combustible, inyectores; ya que por mal estado de los mismos puede no atomizar correctamente el Diesel y dejar gotas dentro de la cámara de combustión y luego ser rascados por el anillo rascador de aceite y terminar en el carter y originar la dilución por combustible y disminución de la viscosidad del aceite.

04) En los gráficos *Desgaste de metales vs Kilometraje* se observa una diferencia significativa en el desgaste de metales de la metalurgia de fabricación de estos motores

El motor que usa un aceite SAE 15W-40 de calidad superior API CI-4 presenta un desgaste menor en cuanto a la metalurgia del motor como son:

Hierro (Fe): Normalmente el hierro viene de la fricción entre las paredes de los cilindros (sean camisas o el bloque mismo) y los anillos. Pero también puede ser del árbol de levas, el cigüeñal, las válvulas, los cojinetes, la bomba de aceite, los engranajes de la cadenilla, el turbo, las guías de válvulas, o las bielas.

Cobre (Cu): El cobre normalmente viene de cojinetes, bujes, enfriador de aceite, arandela de empuje, guías de válvulas y bujes de bielas. Los cojinetes y bujes normalmente son aleaciones y capas de diferentes metales blandos diseñados para absorber impacto y desgaste en lugar del cigüeñal y las bielas. El residuo de estos elementos viene de desgaste o corrosión.

Plomo (Pb): El plomo viene de cojinetes, volandas de empuje, bujes de bielas.

Aluminio (Al): Las partículas de desgaste de aluminio (después de eliminar lo que ingresa como tierra) viene de los cojinetes, bujes (varios), pistones, arandelas de empuje y el turbo.

Cromo (Cr): El cromo viene de la camisa, las válvulas de escape, los anillos, y algunos cojinetes. El desgaste de cromo normalmente se origina con la contaminación del aceite.

El hierro puede provenir del desgaste o herrumbre. Un motor que tiene aceite contaminado por tierra, falta de viscosidad, o alto hollín (entre otros) tendrá desgaste por contacto o falta de lubricación hidrodinámica. Si el aceite está con agua, todas las piezas de hierro son sujetas a herrumbrarse. Si la herrumbre es severa, puede continuar después de corregir el problema hasta que el aceite logre a controlarla.

Un aceite de menor calidad es mas propenso a convertirse viscoso y sucio, pudiendo llegar a volverse oxidante y corrosivo debido a alteraciones químicas lo cual es muy perjudicial para los componentes internos de un motor.

La concentración de partículas abrasivas contenidas en el aceite lubricante es mas notoria en un aceite de calidad menor (CH-4), esto facilita averías y desgastes prematuros del motor que un motor con aceite de ultima calidad.

CONCLUSIONES

1. Todos los aceites lubricantes son buenos, los hay de una mejor calidad y de una inferior calidad, por lo tanto un lubricante nunca debe comprarse por su costo, sino por su calidad o prestaciones. En todo momento deben contemplarse las indicaciones de los fabricantes (de automóviles, camiones, equipo pesado, etc...) sobre el tipo de aceite a utilizar, y decimos TIPO Y NO MARCA, así como las especificaciones que deben cumplir los mismos (grado SAE, clasificaciones y especificaciones).

2. Llevar a cabo con éxito un programa que incluye el Análisis de Aceites garantiza alta productividad, menos costos de mantenimiento, reducción de los paros imprevistos, aumento del precio de reventa de los equipos y la eliminación de grandes fallas a través de pequeñas reparaciones.

3. Para poder establecer el momento más indicado de efectuar el cambio del aceite lubricante, sería necesario

   a) Poder controlar y detectar a tiempo la concentración de partículas abrasivas contenidas en el aceite lubricante, con el fin de conocer sus valores admisibles y evitar que estos provoquen averías y desgastes prematuros del motor.

   b) Conocer las características físico-químicas del aceite lubricante en servicio, con objeto de poder determinar el período de cambio en función de su estado y condiciones de servicio para lograr una mayor vida útil del motor.

   c) Ante la imposibilidad de contemplar lo anteriormente indicado, los cambios de aceite deberían contemplarse según los períodos establecidos en los manuales de mantenimiento. Estos períodos deben considerarse como una exigencia mínima de obligado cumplimiento. En los aceites lubricantes de motores de combustión interna, a la indicación de intervalos preestablecidos en número de kilómetros.

   d) No debe optarse por la alteración de las características físicas típicas de los aceites lubricantes mediante la adición de aditivos; los fabricantes de lubricantes diseñan sus productos (bases + paquetes de aditivos) de acuerdo con las exigencias del mercado, tratando de proveer las máximas protecciones.

4. La utilización de las técnicas de análisis de aceite usado permite corregir problemas a nivel incipiente atacando el problema en su génesis, reduciendo considerablemente los daños en los componentes del motor que de otra manera seria difícil evitar y rediseñar el programa de mantenimiento preventivo.

Aceite Km	Ensayos	SAE 15W-40 API CH-4	SAE 15W-40 API CI-4
15,043 - 15,742	Visc @100ºC (cSt)	23.55	14.75
	Hollín (A/mm)	1.54	0.28
	Oxidación (A/mm)	0.09	0.05
	Nitración (A/mm)	0.1	0.08
	Sulfatación (A/mm)	0.33	0.26

A kilometrajes similares es preferible utilizar el aceite con calidad CI-4, debido a las razones siguientes:

a) La viscosidad a 100ºC es menor y esta dentro de los límites permisibles (12.5 – 16.3 cSt)

b) El hollín, la Oxidación, la Nitración y la sulfatación son menores

5. Considerando que las unidades INTERNATIONAL con motor CUMMINS IS 350V de una vida útil mayor a 10 años; es de suponer que su nivel de desgaste es intermedio o superior por lo tanto el control de los elementos metálicos en el aceite lubricante debe optimizarse como se muestra en el estado comparativo siguiente.

Aceite Km	Nivel de calidad del aceite SAE 15W-40	Fe	Al	Si	Cu	Pb	Cr
11,000 - 13,023	CH-4	35	9	9	5	6	9
	CI-4	25	5	7	4	1	2
15,043 - 15,742	CH-4	37	8	8	9	8	12
	CI-4	25	8	6	5	1	3

6. El hollín, oxidación, nitración y sulfatación del aceite lubricante; determinados a través del FT-IR análisis por espectrometría Infrarrojo de las concentraciones de grupos nitrogenados, azufre, agua, glicol, etc. en el lubricante son causante y afecta a la viscosidad, punto de inflamación, ya que ataca degenerando la estructura química (cadenas de hidrocarburos) del aceite base.

Aceite Km	Nivel de calidad del aceite SAE 15W-40	Hollín	Oxidación	Nitración	Sulfatación
11,000 - 13,023	CH-4	0.96	0.13	0.11	0.38
	CI-4	0.31	0.09	0.08	0.19
15,043 - 15,742	CH-4	1.54	0.09	0.10	0.33
	CI-4	0.28	0.05	0.08	0.26

BIBLIOGRAFÍA

1. "**Laboratory Used Oil Analysis Methods**" M. Lukas and D.P. Anderson, Tribology Data Handbook, CRC Press LLC, 1997.

2. "**Mantenimiento predictivo en base al análisis de aceite lubricante**". G. Pignalosa, C. Mantero, L. Della Mea, R. Mosquera, Jornadas Técnicas de END, Montevideo, 24-26 setiembre 2003.

3. "**Manuel de funcionamiento del FT-IR SPECTROMTERS NICOLET**" Nicolet Instrument Cosporation, USA 1995

4. " **Determination of Wear Metals in Used Lubricating Oils by Atomic. Absorption Spectrometry**".-J.A. Burrow , J.C. Heerdt y J.B. Willis, Anal. Chem., Vol. 37, N° 4, 1965.

5. "**Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids**", ASTM Standard D 445-88, Amer. Soc. for Testing Materials, Philadelphia (1992).

6. "**Lubricación**" Andrés Porras Soriano - Ignacio Marcilla Goldaracena , Cátedra de Motores y Máquinas – UCLM , 59 pp, 2000

7. "**Tribología y Lubricación Industrial y Automotriz**" Pedro Albarracín Aguillón Ingeniero Mecánico - Universidad de Antioquia Medellín – Tomo I, 4ta edición Colombia Enero de 2007

8. "**Oil Analysis Basics**" En Español Drew Troyer & Jim Fitch, Noria Corporation Publicado por: Noria Latín América 2004 Traducción por Gerardo Trujillo, Noria Latín América 187 pp.

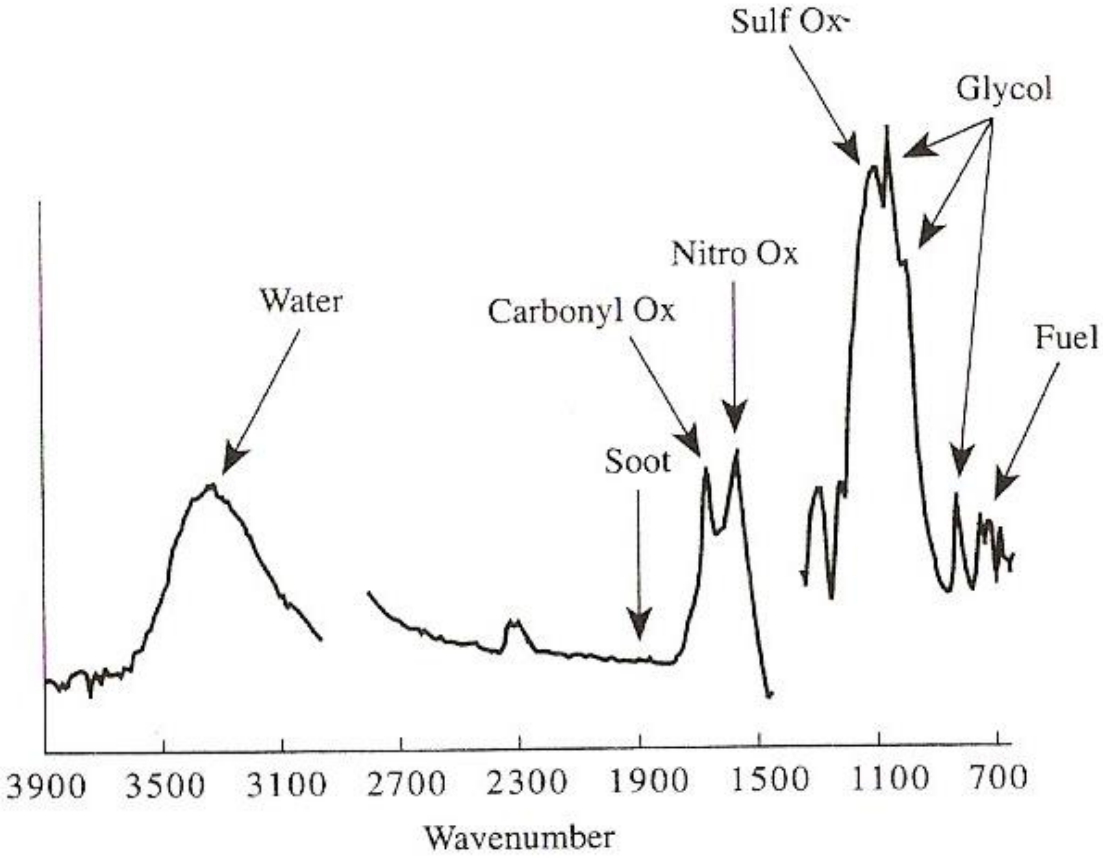
9. "**Técnico en Lubricación y Analista de Lubricantes**" Drew Troyer, Mark Barnes, Noria Corporation , Consulta Julio 2008 http://www.machinerylubrication.com

10. "**Mantenimiento Proactivo – La Reducción en el Presupuesto de Mantenimiento**" Richard Widman boletín # 14 , consulta agosto 2008 <http://www.widman.biz/Boletines/2004/Boletin_14/boletin_14.html >

11. **Lubricant selection**, Consulta: Julio 2008, <htttp://www.noria.com>

TABLAS Y ANEXOS

RANGOS DE LONGITUD DE ONDAS DE CONTAMINANTES EN EL ESPECTRO DEL ACEITE LUBRICANTE



Used-oil difference spectrum

	Units	*Limit of Detection*	*Typical Result*	*Typical High Result*
soot	ABS/0.1 mm	N.A.	0.22	0.70
oxidation	ABS/0.1 mm	0.01	0.1	1.0
nitration	ABS/0.1 mm	0.01	0.1	1.0
sulfation	ABS/0.1 mm	0.01	0.1	1.0
antiwear*	ABS/0.1 mm	-0.01	-0.05	-1.0
diesel fuel	weight %	2	N.A.	6
gasoline	weight %	1	N.A.	6
glycol	weight %	0.1	N.A.	0.3
water	weight %	0.1	N.A.	0.3

* Antiwear is reported as a negative value since it represents the depletion of a material.

LONGITUD DE ONDAS DE CARACTERES EN LA BANDA INFRARROJA

Characteristic IR Band Positions

Group	Frequency Range (cm^{-1})
OH stretching vibrations	
Free OH	3610-3645 (sharp)
Intramolecular H bonds	3450-3600 (sharp)
Intermolecular H Bonds	3200-3550 (broad)
Chelate Compounds	2500-3200 (very broad)
NH Stretching vibrations	
Free NH	3300-3500
H bonded NH	3070-3350
CH Stretching vibrations	
=-C-H	3280-3340
=C-H	3000-3100
C-CH3	2862-2882, 2652-2972
O-CH3	2815-2832
N-CH3 (aromatic)	2810-2820
N-CH3 (aliphatic)	2780-2805
CH2	2843-2863,2916-2936
CH	2880-2900
SH Stretching Vibrations	
Free SH	2550-2600
C=-N Stretching Vibrations	
Nonconjugated	2240-2260
Conjugated	2215-2240
C=-C Stretching Vibrations	
C=-CH (terminal)	2100-2140
C-C=-C-C	2190-2260
C-C=-C-C=-CH	2040-2200
C=O Stretching Vibrations	
Nonconjugated	1700-1900
Conjugated	1590-1750
Amides	~1650
C=C Sretching Vibrations	
Nonconjugated	1620-1680
Conjugated	1585-1625
CH Bending Vibrations	
CH2	1405-1465
CH3	1355-1395, 1430-1470
C-O-C Vibrations in Esters	
Formates	~1175
Acetates	~1240, 1010-1040
Benzoates	~1275
C-OH Stretching Vibrations	
Secondary Cyclic Alcohols	990-1060
CH out-of-plane bending vibrations in substituted ethylenic systems	
-CH=CH2	905-915, 985-995
-CH=CH-(cis)	650-750
-CH=CH-(trans)	960-970
C=CH2	885-895

IR Correlation Chart

Frequencies are approximate and given in cm^{-1} (wavenumbers).

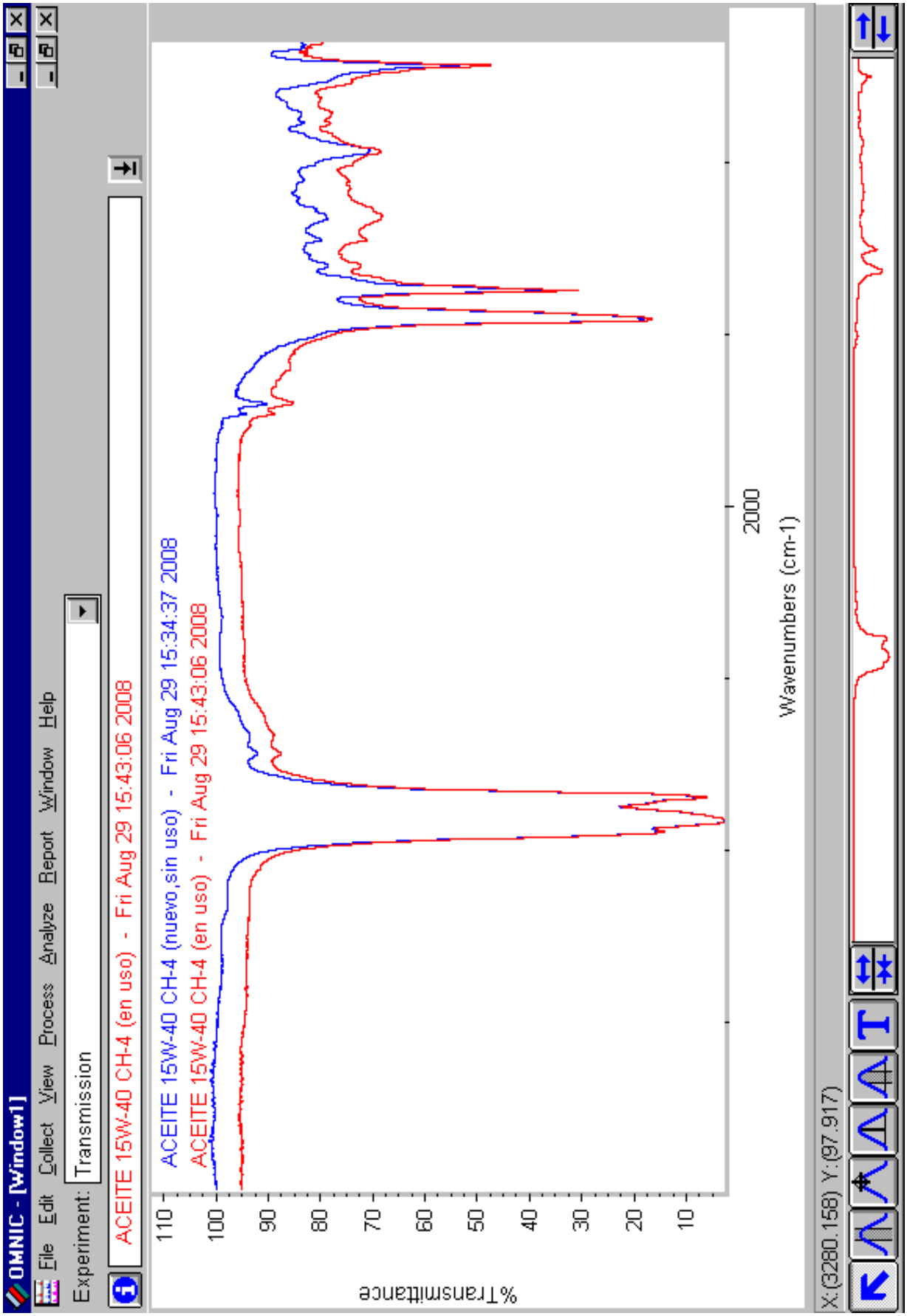
Group	Peaks	Comments
alkanes	C-H stretch below 3000	present in virtually all molecules
alkenes	C-H stretch above 3000 C=C stretch 1600-1675 =C-H oop bend 650-1000	 see handout for details
alkynes	≡C-H stretch 3300 C≡C stretch 2150	infrequent sharp, moderate intensity (doesn't generally overlap with C≡N)
aromatics	=C-H stretch above 3000 C=C stretch 1600 & 1450 =C-H oop bend 690-900 overtones 1667-2000	 see handout for details see handout for details
alcohols	O-H stretch 3200-3500 C-O stretch 1000-1300	v strong, broad if hydrogen bonded, higher frequency & sharp if not use as backup info only; also present in ethers, esters
amines	N-H stretch 3200-3500	1° amines 2 bands 30 apart; 2° weak
nitriles	C≡N stretch 2250	v sharp, moderate intensity (doesn't generally overlap with C≡C)
nitro	N-O stretch 1500-1600 & 1300-1390	v strong
carbonyls (values ± 5-10)*	anhydrides 1810 & 1760 ester 1735 aldehyde 1725 ketones 1715 acids 1710 amides 1690	all carbonyls are STRONG check also for C-O check also for C-H @ 2750 v broad; also has O-H and C-O might have N-H

* Conjugation shifts carbonyls lower by 10-40 cm^{-1}. Ring strain shifts them up.

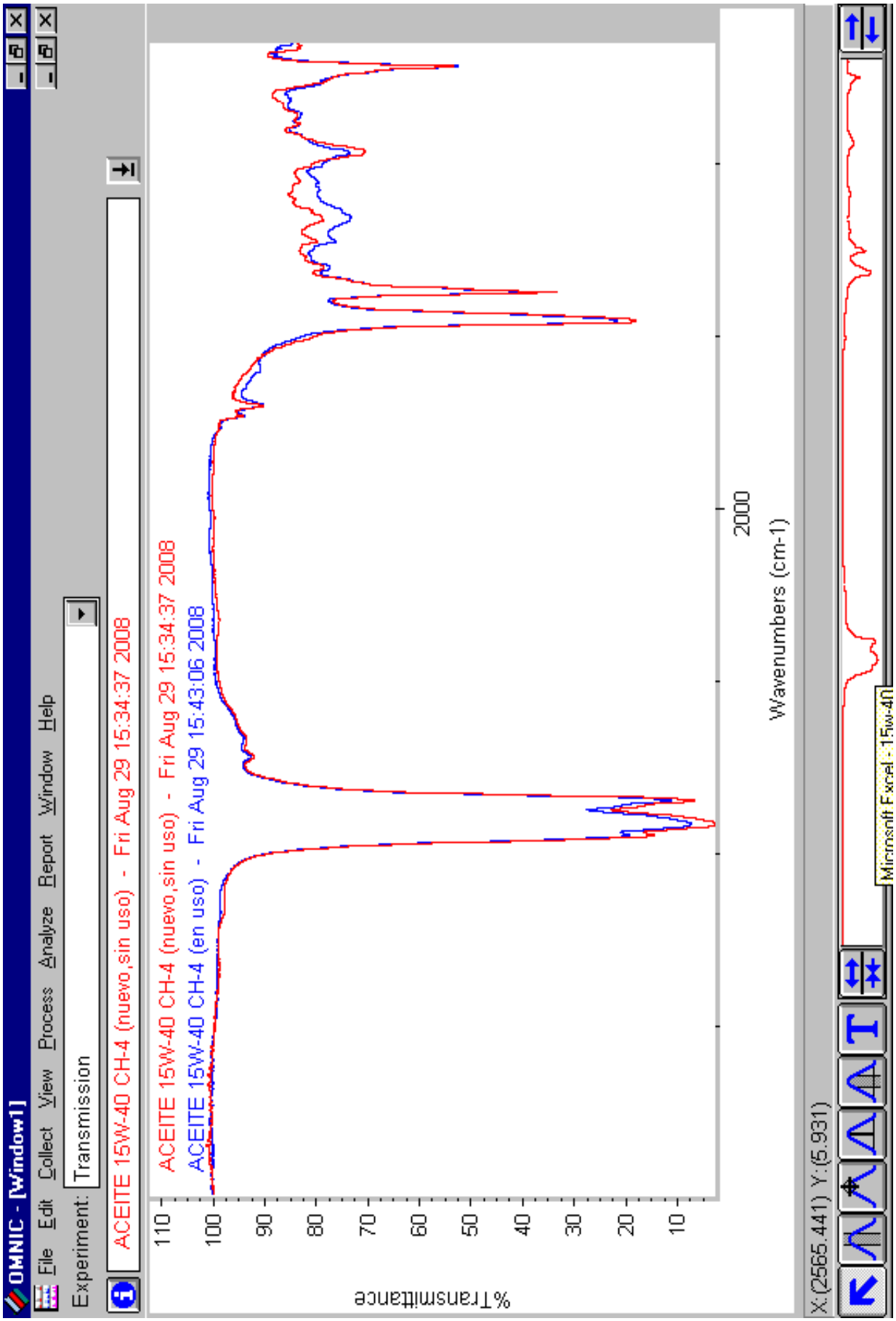
Listed by Region:

O-H, N-H	above 3200
C-H	3000
C≡C, C≡N	2200
C=O, C=C	1600-1800
C-H oop bending	below 1000

ESPECTRO INFRARROJO DE UN ACEITE SAE 15W-40 CH-4



ESPECTRO INFRARROJO DE UN ACEITE SAE 15W-40 CH-4



HOJA TÉCNICA DE UN ACEITE SAE 15W-40 API CH-4

HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

SIG-HC-38 REV00 ENE-06

TURBO SUPER SAE 15W-40 CH-4/SJ

ACEITE DE CALIDAD PREMIUM PARA MOTORES DIESEL BAJO CONDICIONES CRITICAS DE FUNCIONAMIENTO

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

CAM2 TURBO SUPER 15W-40 CH-4, es un lubricante de la más alta calidad, para motores Diesel y a gasolina de 4 tiempos, cuya formulación incluye aceites bases seleccionados altamente refinados y un paquete de aditivos especiales, que proveen al motor de una mayor vida útil. Gracias a su resistente pelicula lubricante, sus aditivos detergentes, dispersantes, inhibidores de herrumbre, corrosión, mejorador de índice de viscosidad, depresores del punto de fluidez, etc., este producto lubrica y protege las piezas metálicas del motor.

Los equipos que trabajan las 24 horas, bajo condiciones climáticas inadecuadas requieren de un aceite de este tipo, que reaccione de manera rápida frente a las diferentes condiciones de velocidad, torque y potencia, aún si estos utilizan combustibles con alto contenido de azufre.

Por su elevada reserva alcalina, este producto previene la formación de ácidos en la cámara de combustión.

Con un programa de mantenimiento adecuado, se logra obtener con este producto un menor consumo de aceite que sus predecesores, así como una excelente resistencia contra la oxidación causada por las altas temperaturas de trabajo del motor, periodos extendidos de lubricación y mayor capacidad de dispersancia del hollín, evitando que resulte abrasivo para las piezas vitales del motor.

CAM2 TURBO SUPER 15W-40 CH-4, cumple con las exigencias de los fabricantes de vehículos y equipos VOLVO, VME, MERCEDES-BENZ, MACK, CUMMINS, DETROIT DIESEL, INTERNATIONAL, CATERPILLAR, NAVISTAR/INTERNATIONAL, ISUZU, IVECO, SAAB/SCANIA, HINO, UD/NISSAN, MAN, MTU TIPO 2, JOHN DEERE, FORD, GENERAL MOTORS, JCB, KOMATSU, SHANTUI, INGERSOLL RAND y BOMAG entre otros.

APLICACIONES Y RECOMENDACIONES

CAM2 TURBO SUPER 15W-40 CH-4, esta recomendado para ser utilizado como lubricante en todo motor Diesel de servicio estacionario y en movimiento de (4) tiempos, de aspiración natural o turboalimentados que trabajan en condiciones severas. Recomendado para flotas mixtas, Diesel y gasolina donde requieran un producto CH-4/ SJ.

Excede los requerimientos exigidos por las diferentes marcas de motores y maquinas industriales y cumple con las siguientes especificaciones:

- API: CH-4, CG-4, CF-4, CF, SJ, SH, SG, SF.
- Mack EO-M PLUS
- VOLVO VDS/VDS-2.
- Cummins CES 20071, CES 20072, CES 20076.
- Allison C4
- TBN 10
- ACEA 99 E3/B3/A3

- ACEA 02 E3/B3/A2
- Mercedes Benz 229.3/Mercedes Benz 229.1
- MAN M 3275
- MTU OIL Categoría 2
- RVI RLD
- ZF TE-ML 02C/03A+/04B/04C/07C.

CUALIDADES Y BENEFICIOS

- Ayuda a controlar la formación de depósitos en los pistones y segmentos, aún en motores con ángulo y tiempo de inyección retrasado o incrementado.
- Permite un excelente control de la corrosión, gracias a su elevada reserva alcalina.
- Ayuda a los nuevos motores en el control de la toxicidad de las emisiones gaseosas, al poseer un controlado contenido de cenizas sulfatadas.
- Tiene un excelente desempeño a bajas temperaturas. Lo que permite el uso de este aceite en climas con bajas temperaturas.
- Reduce el desgaste del motor prolongando su vida útil. Al evitar el desgaste del tren de válvulas, cojinetes, segmentos, camisetas, etc.
- Formulado para trabajar en flotas vehiculares mixtas.
- No contiene PCB (Polychlorinated-Biphenyl o bifenil policlorinado).

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS TÍPICAS

PROPIEDAD	MÉTODO	VALORES TIPICOS
Grado SAE	SAE J300	15W-40
Categoría API		CH-4, CG-4, CF-4, CF/SJ
Gravedad API	ASTM D-287	28.5
Densidad @ 15.0 ºC, Kg/l	ASTM D-1298	0.884
Punto de inflamación, ºC	ASTM D-92	220
Punto de Fluidez, ºC	ASTM D-97	-30
Color	ASTM D-1500	L 5.0
Viscosidad Cinemática		
@ 40ºC, cSt	ASTM D-445	110.09
@100ºC, cSt	ASTM D-445	15.50
Índice de Viscosidad	ASTM D-2270	148
Cenizas Sulfatadas, %wt	ASTM D-874	1.2
TBN, mgKOH/g	ASTM D-2896	10.5
Visc. A baja temp. (ccs), -20ºC, cP.	ASTM D-5293	5000

Nota: Los resultados consignados en la tabla anterior son valores típicos. Entre lotes de fabricación se pueden dar ligeras variaciones que no afectan el rendimiento del producto.

SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Para el manipuleo seguro de este producto se recomienda revisar previamente su respectiva Hoja de Seguridad (o Material Safety Data Sheet – MSDS). Este producto no debe ser utilizado para otros propósitos que no sean las aplicaciones arriba indicadas.
Evite el contacto con el aceite usado. Lávese las manos después de su uso.

En caso de fuego utilice agua, espuma, polvo químico seco o dióxido de carbono. El rociar agua puede no ser efectivo para extinguir el fuego pero puede ayudar a enfriar el recipiente mientras se controla el mismo. En caso de derrame no use agua sino material absorbente.

Proteja el medio ambiente. No contamine los desagües, aguas o suelos con aceite usado.

SUPER HD PREMIUM PLUS SAE 15W-40 CI-4

ACEITE DE CALIDAD PREMIUM PARA MOTORES DE ULTIMA GENERACIÓN

DESCRIPCION DEL PRODUCTO

CAM2 SUPER HD PREMIUM PLUS 15W-40 CI-4 es un aceite cuya formulación y materias primas reúnen los más elevados estándares de calidad del mercado internacional de lubricantes. Este producto ha sido diseñado considerando las últimas innovaciones en motores de combustión interna, tales como el desarrollo de sistemas EGR de enfriamiento y recirculación de gases de escape al cilindro, el aumento del tiempo de inyección de combustible, sistemas de control electrónico, etc.

Todas estas innovaciones requieren que el aceite lubricante tenga una mayor estabilidad en la viscosidad, mayor capacidad de detergencia y dispersancia, así como una mayor acción protectora y de refrigeración. Estas características son necesarias debido a que los motores Diesel que reúnen la tecnología anteriormente descrita trabajan bajo condiciones de régimen severo crítico, lo que produce la generación de temperaturas y presiones elevadamente críticas.

Asimismo, estos cambios hacen necesario que el aceite posea una mejor compatibilidad con los elastómeros de sellos y retenes, una menor volatilidad, así como mayor resistencia al cizallamiento, estabilidad térmica, resistencia a la aeración, retención de TBN, tolerancia a la degradación por contaminación interna y externa, y finalmente, menor coeficiente de fricción, disminuyendo de esta manera el desgaste. Todas estas características se encuentran presentes en el **CAM2 SUPER HD PREMIUM PLUS 15W-40 CI-4**.

CAM2 SUPER HD PREMIUM PLUS 15W-40 CI-4, cumple con API CI-4, CH-4, CG-4, CF, SL, SJ, ACEA E7/B4/A3, Volvo VDS-3, VDS-2, CAT ECF-1, Cummins CES 20078 / CES 20077 / CES 20071, MAN 271 / M-3275, MTU Tipo 2, MLT 5044 Categoría 2 Mack EOM Plus, MB-228.3, 229.1, Global DHD-1 y JASO DH-1, Renault RLD, Scania LDF, Allison C-4, Cat TO-2.

APLICACIONES Y RECOMENDACIONES

CAM2 SUPER HD PREMIUM PLUS 15W-40 CI-4, esta diseñado para ser empleado en el rubro de minería, pesca, transporte, agro industria, etc. Es común encontrar en estos sectores motores Cat, New Holland, Volvo, Mack, Internacional, Man, John Deere, JCB, Komatsu, Shantui, Ingersoll Ran, Bomag, Daewoo, Hyundai, Cummins, Mercedes Benz, Scania. Con modelos; CAT, C9, C11, C13, C15, 3116, 3126, 3176C 3500, 3600; Cummins, K19, V12-500M, NTA; Volvo Penta 163 TAMD, D12D, etc. Aplicable donde requieran un aceite SAE 15W-40 API CI-4.

CUALIDADES Y BENEFICIOS

- Cumple con el nivel de calidad API CI-4, CH-4, CF-4, CF / SL, SJ.
- Utilizado en motores diesel provenientes de Norte América, Europa y Japón. Sobre todo en aquellos diseñados para cumplir con las más exigentes normas de control de emisiones gaseosas y una mayor vida útil esperada.
- Permite una mayor viscosidad frente a las altas temperaturas, presiones y esfuerzos de fatiga que se producen entre las superficies internas del motor. Manteniendo una mayor viscosidad que los antecesores cuyo límite era 2.9 Cp (CH-4) de acuerdo a SAE J300.
- Permite períodos más extendidos de drenaje de aceite, aún considerando la mayor cantidad de contaminantes ácidos, altas temperaturas de trabajo y mayor contacto con sustancias NOx. Gracias a su mayor capacidad de dispersancia e inhibición de la oxidación.
- Reduce el desprendimiento del plomo, cobre, cromo, aluminio, etc., provenientes de los anillos, cojinetes y camisetas del motor. Aumentando la vida útil del motor con un funcionamiento con mayor rendimiento.
- Excelente desenvolvimiento en motores con recirculación de gases de escape (válvula EGR), sistemas de control electrónico, mayor tiempo de inyección, etc.
- Mejor control de la formación de depósitos en pistones, coronas, asientos de válvulas, cojinetes, etc.
- Menor consumo de aceite que su predecesor. Al reducir significativamente la formación de depósitos en los elementos internos del motor.
- Excelente rendimiento tanto en motores de última generación como en sus predecesores.
- Brinda una mayor protección inhibiendo de manera sobresaliente la herrumbre, corrosión y oxidación. Gracias a la alta retención de TBN.
- Tiene un excelente desempeño a bajas temperaturas. Permitiendo menos desgaste en el arranque y mayor rendimiento por galón de combustible.
- Formulado para trabajar en flotas vehiculares mixtas.
- No contiene PCB (Polychlorinated-Biphenyl o bifenil policlorinado).

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS TÍPICAS

PROPIEDAD	MÉTODO	VALORES TÍPICOS
Grado SAE	SAE J300	15W-40
Categoría API		CI-4, CH-4, CG-4, CF-4, CF/SL, SJ
Gravedad API	ASTM D-287	28.3
Densidad @ 15.0 ºC	ASTM -1298	0.885
Punto de inflamación, ºC	ASTM D-92	220
Punto de Fluidez, ºC	ASTM D-97	-33
Color	ASTM D-1500	L 5.0
Viscosidad cinemática		
@ 40ºC, cSt	ASTM D-445	111.38
@100ºC, cSt	ASTM D-445	15.52
Índice de Viscosidad	ASTM D-2270	147
Cenizas Sulfatadas, %wt	ASTM D-874	1.2
Número TBN, mgKOH/g	ASTM D-2896	11
Visc. A baja temp. (ccs), -20ºC, Cp.	ASTM D-5293	4980

Nota: Los resultados consignados en la tabla anterior son valores típicos. Entre lotes de fabricación se pueden dar ligeras variaciones que no afectan el rendimiento del producto.

SALUD, SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Para el manipuleo seguro de este producto se recomienda revisar previamente su respectiva Hoja de Seguridad (Material Safety Data Sheet – MSDS). Este producto no debe ser utilizado para otros propósitos que no sean las aplicaciones arriba indicadas.
Evite el contacto con el aceite usado. Lávese las manos después de su uso.

En caso de fuego utilice agua, espuma, polvo químico seco o dióxido de carbono. El rociar agua puede no ser efectivo para extinguir el fuego pero puede ayudar a enfriar el recipiente mientras se controla el mismo. En caso de derrame no use agua sino material absorbente.

Proteja el medio ambiente. No contamine los desagües, aguas o suelos con aceite usado.

TABLA SAE-J300

La determinación de viscosidad de aceites para motores se mide con la tabla de viscosidades SAE de acuerdo a la norma SAE J300. Esta tabla clasifica las viscosidades de acuerdo a su viscosidad cinemática a 100°C y en caso de aceites multigrados también se mide su bombeabilidad y resistencia al arranque en frío.

Ejemplo:

Un aceite Multigrado SAE 15W-XX no puede espesarse a más que 7,000 cP cuando la temperatura baja a -20°C en las pruebas de la ASTM D 5293, y 60,000 cP en la prueba ASTM D 4684.

Un aceite SAE 40 tiene que tener la viscosidad entre 12.5 cSt y 16.3 cSt a 100°C. Esta viscosidad debería mantenerse por el periodo de uso del aceite.

La tabla también regula la rotura de polímeros, o cizallamiento permitido en alta temperatura (medido a 150°C), garantizando la protección necesaria para los cojinetes, árbol de levas y todas las piezas que requieren lubricación forzada. Los aceites certificados API CI-4 tienen más resistencia, por la exigencia del API de mantener esta viscosidad en un mínimo de 3.5 cP a 150°C. Hoy en día hay aceites SAE 15W-40 que pueden mantener 4.2 cP en estas condiciones.

Viscosidad SAE	Arranque en Frio cP	Bombeabilidad en Frio cP	Mínima Cinemática cSt	Máxima Cinemática cSt	Cizallamiento en alta temperatura cP
0W	6,200 @ -35	60,000 @ -40	3.8	-	-
5W	6,600 @ -30	60,000 @ -35	3.8	-	-
10W	7,000 @ -25	60,000 @ -30	4.1	-	-
15W	7,000 @ -20	60,000 @ -25	5.6	-	-
20W	9,500 @ -15	60,000 @ -20	5.6	-	-
25W	13,000 @ -10	60,000 @ -15	9.3	-	-
20	-	-	5.6	9.3	2.6
30	-	-	9.3	12.5	2.9
40	-	-	12.5	16.3	2.9 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	-	-	12.5	16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 monogrados)
50	-	-	16.3	21.9	3.7
60	-	-	21.9	26.1	3.7

TABLA SAE-J306

La determinación de viscosidad de aceites para transmisiones se mide con la tabla de viscosidades SAE de acuerdo a la norma SAE J306. Esta tabla clasifica las viscosidades de acuerdo a su viscosidad cinemática (máximo y mínimo) a 100° C y también se mide la bombeabilidad de los aceites multigrados en frío.

Esta tabla reemplace la anterior para distinguir las viscosidades con mayor confianza. Previamente los rangos de viscosidades eran muy amplios y la variación entre marcas o con la misma viscosidad SAE podía ser demasiado grande para proteger el equipo.

Ejemplo:

La tabla anterior permitía una variación de viscosidad de un aceite SAE 90 entre 13.5 y 24.0 cSt a 100° C. Si un fabricante diseñó su equipo para un aceite con una viscosidad de 20 cSt, podría ser protegido con el aceite SAE 90 de una marca, pero tal vez no tener esa protección si el aceite SAE 90 tenia 16.0 cSt de viscosidad a 100° C.

La nueva tabla limita los aceites SAE 90 a una variación entre 13.5 y 18.5. Una nueva categoría (SAE 110) cubre los aceites cuya viscosidad a 100° C es entre 18.5 y 24.0. Si el fabricante quiere una viscosidad de 20 cSt a 100° C, ahora puede especificar SAE 110.

De la misma forma, anteriormente un aceite SAE 140 podría tener una variación entre 24.0 y 41.0 cSt. Ahora se limite el SAE 140 a una variación entre 24.0 y 32.5 cSt. Las viscosidades entre 24.0 y 41.0 cSt ahora son clasificadas SAE 190.

El punto crítico para su vehículo es utilizar la viscosidad correcta para las condiciones y su diseño.

Clasificación de Viscosidad de Lubricantes para Engranajes Automotriz			
Efectivo 1 de Enero, 2005			
Grado de Viscosidad SAE	Temperatura Maxima para una viscosidad de 150,000 cP (°C)	Viscosidad Cinemática Mínima (cSt) a 100°C	Viscosidad Cinemática Máxima (cSt) a 100°C
	ASTM D 2983	ASTM D 445	ASTM D 445
70W	-55	4.1	--
75W	-40	4.1	--
80W	-26	7.0	--
85W	-12	11.0	--
80	--	7.0	<11.0
85	--	11.0	<13.5
90	--	13.5	<18.5
110	--	18.5	<24.0
140	--	24.0	<32.5
190	--	32.5	<41.0
250	--	41.0	--
		Tiene que mantener su viscosidad después de 20 horas en la prueba CEC L-45-A-99	

CLASIFICACIÓN ASTM Y CONSISTENCIA NLGI

ASTM D 217

Penetración trabajada ASTM D217 mm/10 25°C (77°F)	Consistencia NLGI	Grado de dureza	Campo de aplicación
447-475	000	Muy fluida	Engranajes
400-430	00	Fluida	Engranajes
355-385	0	Semifluida	Rodamientos, sistema centralizado de lubricación
310-340	1	Muy Blanda	Rodamientos, sistema centralizado de lubricación
265-295	2	Blanda	Rodamientos
220-250	3	Media	Rodamientos
175-205	4	Dura	Cojinetes lisos, grasa en bloque
130-160	5	Muy Dura	Cojinetes lisos, grasa en bloque
85-118	6	Durisima	Cojinetes lisos, grasa en bloque

Observaciones:

(1) Las grasas fluidas y semifluidas, con una penetración ASTM D217 por encima de 475, no se prueban con el penetrómetro.

CLASIFICACIÓN ISO DE LOS ACEITES INDUSTRIALES

Grado ISO	Límites de viscosidad					
	cSt/40°C		SSU/100°F		SSU/210°F	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
2	1,98	2,42	32,8	34,4		
3	2,88	3,52	36,0	38,2		
5	4,14	5,06	40,4	43,5		
7	6,12	7,48	47,2	52,0		
10	9,00	11,00	57,6	65,3	34,6	35,7
15	13,50	16,50	75,8	89,1	37,0	38,3
22	19,80	24,20	105,0	126,0	39,7	41,4
32	28,80	35,20	149,0	182,0	43,0	45,0
46	41,40	50,60	214,0	262,0	47,1	49,9
68	61,20	74,80	317,0	389,0	52,9	56,9
100	90,00	110,00	469,0	575,0	61,2	66,9
150	135,00	165,00	709,0	871,0	73,8	81,9
220	198,00	242,00	1047,0	1283,0	90,4	101,0
320	288,00	352,00	1533,0	1881,0	112,0	126,0
460	414,00	506,00	2214,0	2719,0	139,0	158,0
680	612,00	748,00	3298,0	4048,0	178,0	202,0
1000	900,00	1100,00	4864,0	5975,0	226,0	256,0
1500	1350,00	1650,00	7865,0	9079,0	291,0	331,0

EQUIVALENCIAS ENTRE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LA VISCOSIDAD

Grado ISO	Grado ASTM	Grado AGMA	Grado SAE			
			Motor		Engranajes	
			Unigrado	Multigrado	Unigrado	Multigrado
10						
15	75					
22	105		OW, 5W		75W	
32	150		10W			
46	215	1	10,15W			
68,68EP	315	2, 2EP	20W,20	10W30,20W20	80,80W	
100,100EP	465	3,3EP	25W,30	5W50, 15W40		
150,150EP	700	4,4EP	40	15W50, 20W40		
220,220EP	1000	5,5EP	50		90	85W90
320,320EP	1500	6,6EP				85W140
460,460EP,460C	2150	7,7EP,7C			140	
680,680EP,680C	3150	8,8EP,8C				
1000,1000EP,1000C	4650	9,9EP,9C				
1500,1500EP,1500C	7000	10,10EP,10C			250	

Notas:

(1) Cuando se halla el grado ISO equivalente de un aceite unigrado para motores de combustión interna su IV puede ser menor o igual a 95, si es de especificación W debe ser mayor de 95 y si es multigrado, debe estar por encima de 110. Cuando se trate de aceites para engranajes se procede de la misma manera.

(2) La C en los aceites especificados en el sistema ISO ó AGMA significa Compuesto ó aceites con aditivos a base de ácidos grasos para condiciones de lubricación EHL donde la temperatura de carcasa del mecanismo es menor ó igual a 50°C.

(3) Cuando el fabricante recomienda el tipo de aceite a utilizar en cualquier sistema de unidades de viscosidad, referenciados a una temperatura especifica, es necesario hallar el grado ISO correspondiente (recuérdese que el grado ISO de un aceite está dado en cSt a 40°C) para lo cual es necesario, en primer lugar, convertir las unidades de viscosidad dadas a cSt

TABLA DE CODIGO ISO 4406

ISO 4406 CODE LEVELS		
PARTICLE COUNT RANGE (PER ML)		
ISO CODE	Minimum (Included)	Maximun (Excluded)
1	0.01	0.02
2	0.02	0.04
3	0.04	0.08
4	0.08	0.16
5	0.16	0.32
6	0.32	0.64
7	0.64	1.3
8	1.3	2.5
9	2.5	5
10	5	10
11	10	20
12	20	40
13	40	80
14	80	160
15	160	320
16	320	640
17	640	1300
18	1300	2500
19	2500	5000
20	5000	10000
21	10000	20000
22	20000	40000
23	40000	80000

ISO 4406 CODE LEVELS		
PARTICLE COUNT RANGE (PER ML)		
ISO CODE	Minimum (Included)	Maximun (Excluded)
24	80000	160000
25	160000	320000
26	320000	640000
27	640000	1300000
28	1300000	2500000

Tabla Comparativa de Viscosidades

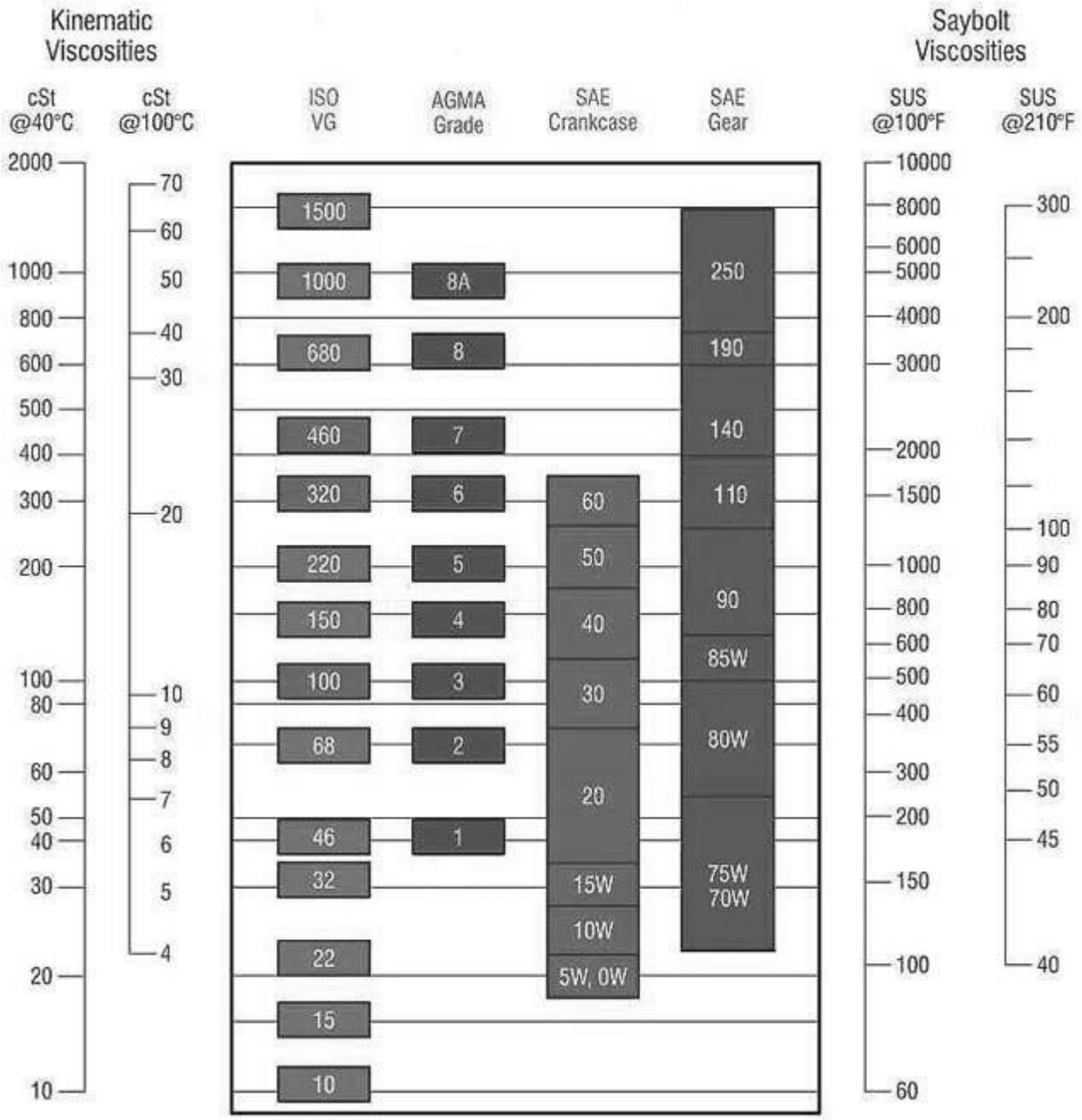
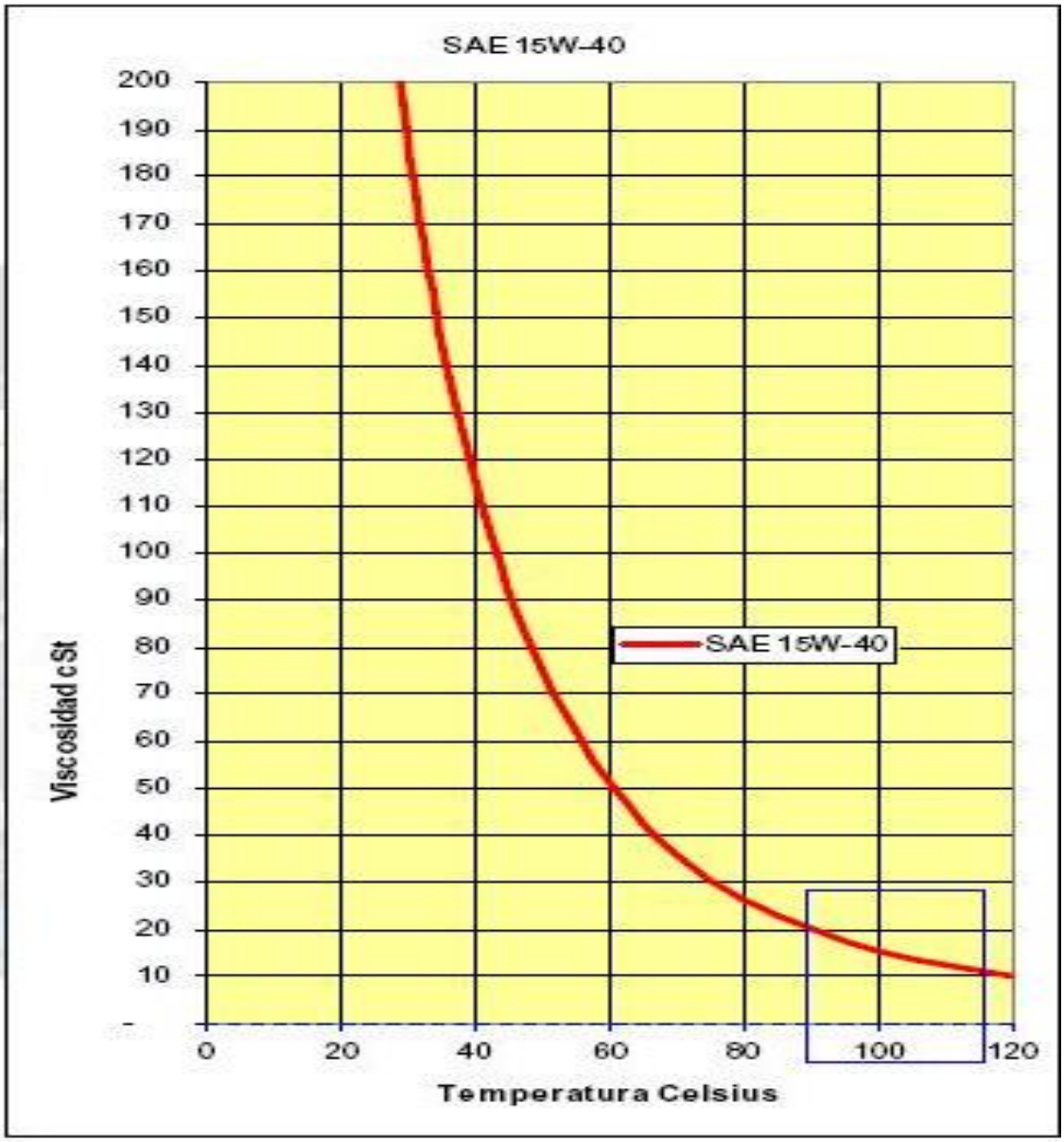


TABLA DE VISCOSIDAD vs TEMPERATURA (SAE 15W-40)



7600

tu mejor compañía

Cabina:
Tipo: Modular nueva generación
Material: Acero galvanizado (ambos lados)
Trat. anticorrosivo: E-coat por inmersión
Pintura: 2 capas con terminado a base de uretano
Suspensión de cabina: Neumática
Exteriores de cabina:
Espejos abatibles: Rectangulares 7.44" x 14.84"
Espejos convexos: En ambos lados, 7.44 pulg^2.
Espejo convexo de seguridad: En puerta derecha
Cofre: Fibra de vidrio de 3 piezas
Parrilla: Cromada estándar
Defensa: Uso rudo, gris

Interiores de cabina:
De lujo color gris
Asiento de conductor: Neumático, respaldo alto en tela
Asiento pasajero: Fijo con respaldo alto en tela
Aire acondicionado: De alta eficiencia con autoprotección y diagnóstico

Equipo de seguridad:
Triángulos reflejantes
Gato y herramienta
Extinguidor
Alarma de reversa audible

Dimensiones y capacidades:	pulg	mm
Distancia entre ejes (WB)	219"	5,562,60
Cabina a eje trasero (CA)	151,6"	3,856,26
Cabina a fin de chasis (CF)	215,5"	5,509,26
Volado trasero (AF)	65,0"	1,651,00
Largo total (OAL)	323,5"	8,227,08
	lbs	**Kg**
Peso bruto vehicular	65,000	29,937,10
Capacidad delantera	20,000	9,071,85
Capacidad trasera	46,000	20,865,25
Peso vehicular	17,379	7,885,29
Peso en eje delantero	9,592	4,350,88
Peso en eje trasero	7,781	3,529,40

Motor:
Marca: Cummins
Modelo: ISM 350 V
Potencia nominal: 335 HP @ 2,100 RPM
Potencia máxima: 350 HP @ 2,100 RPM
Torque máximo: 1,450 lbs-pie. @ 1,200 RPM
Toma de fuerza: Cummins Repto 1.15:1

Bastidor:
Material: Acero con tratamiento térmico
Dimensiones principal: 10.125" x 3.580" x 0.312"
Dimensiones refuerzo: 10.813" x 3.892" x 0.312"
Res. a la cedencia: 120,000 lbs/pulg^2.
Módulo de sección: 31.72 pulg^3.
RBM: 3'806,400 pulg-lbs.
Defensa frontal: Una sola pieza de acero

Dirección:
Marca y modelo: Sheppard Dual M-100/M-80
Columna de dirección de posiciones
Volante: 2 brazos, 18" de diámetro
Control crucero: en volante

Suspensión trasera (estándar)
Marca: Hendrickson Haulmaax HMX - 460-54
Opcional: Chalmers 854-46H-HS
Tipo: Barra igualadora (Walking Beam)
Separación entre ejes: 54"
Capacidad: 46,000 lbs.

Ejes traseros:
Marca: Dana Spicer
Modelo (delantero/trasero): D46-170 HP/R46-170DH con bomba de lubricación interna
Capacidad: 46,000 lbs.
Relaciones: 5.29
Lubricante: Aceite sintético 75W90

Embrague: Eaton Fuller
Modelo: SOLO EP 1552 EASY-Pedal
Tipo: Disco doble cerámico, 15.5"
Ajuste: Auto ajustable
Capacidad: 1,700 lbs-pie.

Sistema de enfriamiento:
Material/tipo: Aluminio/flujo cruzado
Radiador: 1,150 pulg^2.
Post-enfriador: 1,030 pulg^2.
Refrigerante: Texaco de larga vida
Accionamiento vent.: Horton Drivemaster

Sistema de escape y freno:
Freno de motor: Jacobs de 2 posiciones.
Escape: Con silenciador y tubería corta de acero aluminizado

Sistema de frenos y compresor de aire:
Tipo: Aire, dual para camión
Compresor: Cummins
Capacidad: 18.7 CFM
Secador de aire: Bendix AD-9

Rines delanteros y traseros:
Tipo: Discos de acero
Dimensiones delanteras: (2) 22.5" x 12.25"
Dimensiones traseras: (8) 24.5" x 8.25"

Llantas delanteras y traseras:
Delanteras: 2 Michelin 425 /65 R 22.5-XZY-3 20 capas
Traseras: 8 Michelin 11 R - 24.5 XDY-2 16 capas

Flechas Cardan:
Flecha Cardan principal:
Spicer Life SPL250 libre de mant.
Flecha Cardan interejes
Spicer Life SPL170 libre de mant.

Frenos:
Tipo: ABS aire dual leva tambor auto ajustable
Dimensiones delanteros: 16.5" x 6.0" cámaras de 24 pulg^2.
Dimensiones traseros: 16.5" x 7.0"

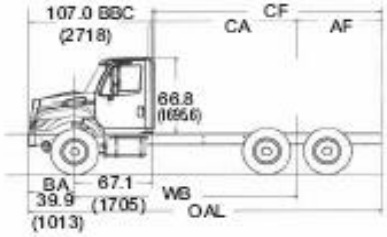
Transmisión:
Marca: Fuller
Modelo: RTO-14908LL (incluye enfriador de aceite y bomba de lubricación)
Tipo: Manual de 10 velocidades
Relaciones: 14.96/9.42/6.24/4.03/3.40
2.53/1.83/1.36/1.00/0.74
Lubricante: Aceite sintético 50 W.

Sistema de combustible:
Tanque: Acero en forma de "D"
Capacidad total: 265 lts. (70 Gal.)
Filtro separador (agua-combustible): Davco Fuel Pro 382

Suspensión delantera:
Tipo: Muelles parabólicos / Multihojas con amortiguadores
Capacidad: 20,000 lbs.

Eje delantero:
Marca: Dana Spicer
Modelo: I -200 W (Wide Track)
Capacidad: 20,000 lbs.

Sistema eléctrico 12 v multiplex:
Baterías: 12 v, 2,250 CCA
Alternador: Leece-Neville BLP 2309
12 V / 160 A
Marcha: Delco-Remy MT-42 con prot. term.
Prep. para radio: Alambrado, bocinas y antena
Cortacircuitos: Tipo SAE III, en lugar de fusibles



tu mejor compañía

TRACTO CAMIONES USA

Representante exclusivo de INTERNATIONAL en el Perú
Av. Los Cipreses 418, Urb. Los Ficus, Santa Anita
(Evitamiento con Carretera Central)
Central: **478-3100**, Fax: **478-2022**
E-mail: **ventas@tracusape.com**